

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Návrh spalovací pece s dohořivací komorou pro spalovnu odpadů

Proposal of Combustion Chamber for Incineration Plant

Student:

Helena Michalcová

Vedoucí diplomové práce:

Prof. Ing. Pavel Kolát

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Helena Michalcová**
Studijní program: M2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení
Téma: **Návrh spalovací pece s dohořivací komorou pro spalovnu odpadů**

Proposal of Combustion Chamber for Incineration Plant

Zásady pro vypracování:

Navrhněte koncepční řešení spalovací pece s dohořivací komorou pro spalovnu nemocničních odpadů. V návrhu proveďte výpočet základních rozměrů, tepelný a hydraulický výpočet. Zpracujte návrh rotační spalovací komory, dávkovacího hydraulického zařízení a dohořivací komory.
Pro koncepční řešení dohořivací komory použijte hořáky na zemní plyn.

Jmenovitý výkon 400 kg/hod
Teplota spalin z dohořivací komory 1000°C

Seznam doporučené odborné literatury:

RÉDR, M., PŘÍHODA, M. *Základy tepelné techniky*. Praha. SNTL, 1991
ISBN 80-03-00366-0
SADIK KAKAC. *Boilers, evaporators, condensers*. John Wiley. USA. New York 1991
CIP 90-22486 v knihovně VŠB.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010




prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....20.5.2010.....

.....Michalčová.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ведоми, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude v elektronické podobě uložen v Ústřední knihovně VŠB– TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO
- bylo sjednáno, že v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřená příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ведоми, že odevzdání své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20.5.2010

Michalcová
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Helena Michalcová

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Topolová 404

79 61 Třinec

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Michalcová, H. *Návrh spalovací pece s dohořivací komorou: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2009, 60 s
Vedoucí práce: Kolát, P.

Diplomová práce se zabývá návrhem spalovací pece s dohořivací komorou pro spalovnu nemocničních odpadů. V úvodní části je legislativa související s nakládáním nebezpečného odpadů, požadavky na ochranu ovzduší a všeobecné informace o nemocničních odpadech. V návrhu je proveden výpočet základních rozměrů, tepelný a hydraulický výpočet. V další části je zpracovaná problematika spalování odpadu jeho hydraulické dávkování do rotační spalovací pece. Dále je zpracován návrh pohonu. V konečné fázi diplomové práce je zpracován simulační model tepelné bilance pro různé varianty odpadů a je zajištěna jejich optimální skladba.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Michalcová, H. *Proposal of Combustion Chamber for Incineration Plant: Master (Bachelor) Thesis*. Ostrava :VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy, 2009, 60 p. Thesis head: Kolát, P,

The diploma work deals processed proposal incinerator with burn out chamber for incinerator in - patient wastes. In exordium is legislature incidental pickling dangerous wastes, requirements on air protection and universal information on in - patient wastes. In proposal is effected calculation basic proportions, heat and hydraulic calculation. In next parts is processed problems live burning his hydraulic dosage to the rotary incinerator. Further is processed proposal drive. In final phase diploma work is processed simulation model heat balance - sheet for various variants wastes and is independent their optimum composition.

Obsah

Seznam použitého označení	8
1. Úvod	12
2. Legislativa pro odstraňování odpadů	13
2.1 Hodnocení nebezpečných vlastností odpadů	14
2.2 Klasifikace odpadů ze zdravotnických zařízení dle WHO	15
2.3 Nakládání s odpady ze zdravotnického zařízení	17
2.4 Podmínky pro konstrukci a provoz spalovacího zařízení	20
3. Spalování odpadů	21
3.1 Základní podmínky při spalování	21
3.2 Výhody a nevýhody spalování	22
3.3 Termické metody odstraňování odpadů	23
4. Spalovny s rotační pecí	28
4.1 Spalování v rotační peci	29
5. Návrh spalovacího zařízení	33
5.1 Popis funkce matematického modelu	35
6. Odvození základních a tepelných výpočtů	35
6.1 Výpočet základních a tepelných výpočtů	41
7. Návrh jednotlivých částí a agregátů pece	43
7.1 Návrh hlavních rozměrů, otáček a sklonu rotace	43
7.2 Proudění spalin a pohyb materiálu v rotační peci	44
7.3 Výpočet hmotnosti pece	45
7.4 Uložení pece.....	47
7.5 Pohon rotační pece	48
7.6 Regulace spalovacího procesu	49
7.7 Automatika plnění odpadu	50
7.8 Vstupní čelo rotační pece	52
7.9 Stabilizační hořák	52
7.10 Mechanika odpopelnění	53
8. Dohořivací komora	54
8.1 Hlavní hořák v dohořivací komoře	55
8.2 Kouřový ventilátor	55
9. Vyzdívka rotační pece a dohořivací komory	56

10. Další části spalovny	58
10.1 Vyměňík tepla	58
10.2 Čištění spalin	59
10.3 Měření emisí	60
11. Závěr	61
Seznam použitých pramenů	63
Seznam příloh	64

SEZNAM POUŽITÉHO OZNAČENÍ

SYMBOL	JEDNOTKA	VÝZNAM
a_L	[m]	vzdálenost ložisek kladky
b_k	[m]	šířka kladky
b_o	[m]	šířka nosné konstrukce
b_v	[m]	šířka ozubeného věnce
c_s	[KJ.m _N ⁻³ .K]	měrná tepelná kapacita při teplotě t_{st}
d_v	[m]	vnitřní průměr pláště pece
d_{v1}	[m]	vnější průměr vyzdívky a vnitřní průměr izolace
d_{v2}	[m]	vnější průměr izolace a vnitřní průměr pláště pece
d_1	[m]	vnitřní průměr pece
d_2	[m]	vnější průměr pláště pece
d_3	[m]	vnitřní průměr nosné obruče
d_4	[m]	vnější průměr nosné obruče
d_H	[m]	průměr hřídele kladky
d_{DK}	[m]	průměr dohořivací komory
d_K	[m]	vnější průměr kladky
F_{max}	[N]	maximální reakce v kladkách
f	[-]	součinitel tření
f_p	[-]	převodní součinitel
H	[-]	obsah vodíku
K_1, K_2	[-]	součinitel délky pece
L	[m]	délka pece
m_c	[kg]	celková hmotnost pece
m_1	[kg]	hmotnost vyzdívky pece
m_2	[kg]	hmotnost pláště pece
m_3	[kg]	hmotnost obručí pece
m_4	[kg]	hmotnost ozubeného věnce
\dot{m}	[kg.h ⁻¹]	hmotový tok odpadu
m_i	[kg]	hmotnost i-té složky
n_p	[-]	přebytek vzduchu

n_1	[-]	přebytek vzduchu v pece
n_2	[-]	přebytek vzduchu v dohořivací komoře
n_{2V}	[ot.min ⁻¹]	otáčky ozubeného kola věnce pece
P_{el}	[kW]	výkon elektromotoru
P_{p1}	[kW]	výkon stabilizačního hořáku
P_{p2}	[kW]	výkon pomocného hořáku
\dot{q}	[W.m ⁻²]	hustota tepelného toku
Q_i	[kJ.kg ⁻¹]	výhřevnost i-té složky odpadu
Q_o	[kJ.kg ⁻¹]	celková výhřevnost odpadu
Q_p	[kJ.m ⁻³]	výhřevnost plynu
Q_{1RP}	[kW]	teplo přivedeného odpadu
Q_{2RP}	[kW]	teplo přivedené plynem stabilizačního hořáku
Q_{3RP}	[kW]	teplo přivedené spaliny
Q_{1DK}	[kW]	teplo přivedené z rotační pece
Q_{2DK}	[kW]	teplo přivedené plynem pomocného hořáku
Q_{3DK}	[kW]	teplo odvedené spaliny
Q_{4DK}	[kW]	teplo odvedené tuhými zbytky
t	[s]	doba setrvání odpadu v peci
t_o	[°C]	teplota spalin v počátečním úseku pece
t_{V1}	[°C]	teplota primárního spalovacího vzduchu
t_{V2}	[°C]	teplota sekundárního spalovacího vzduchu
t_{Sopt}	[°C]	optimální teplota spalin
t_{st}	[°C]	teoretická teplota spalin
t_s	[°C]	teplota vnitřního povrchu žáruvzdorné vyzdívky a vnitřního povrchu izolace
t_{st2}	[°C]	teplota vnějšího povrchu žáruvzdorné vyzdívky a vnitřního povrchu izolace
t_{st3}	[°C]	teplota vnějšího povrchu izolace a vnitřního povrchu pláště
t_{st4}	[°C]	teplota vnějšího povrchu pláště
t_{s1}	[°C]	teplota spalin na výstupu z pece
t_{s2}	[°C]	teplota spalin na výstupu z dohořivací komory
T_k	[°C]	dooba setrvání spalin v počátečním úseku pece
v_{DK}	[m]	výška dohořivací komory
V_{DK}	[m ³]	objem dohořivací komory

\dot{V}_{P1}	$[m_N^3.s^{-1}]$	objemový průtok plynu hořákem v peci
\dot{V}_{P2}	$[m_N^3.s^{-1}]$	objemový průtok plynu hořákem v dohoř. komoře
V_S	$[m_N^3.s^{-1}]$	průtok spalin při t_{s2} pro skutečný stav
V_{SN}	$[m_N^3.s^{-1}]$	průtok spalin za dohořivací komorou
V_{SNO}	$[m_N^3.kg^{-1}]$	celkové množství vlhkých spalin z odpadu
V_{SNP}	$[m_N^3.m_N^{-3}]$	celkové množství vlhkých spalin z plynu
$V_{SP,ODP}$	$[m_N^3.s^{-1}]$	množství spalin z odpadu
$V_{SP,PL}$	$[m_N^3.s^{-1}]$	množství spalin z plynu
$V_{SP,1}$	$[m_N^3.s^{-1}]$	skutečné množství spalin v rotační peci
$V_{SP,2}$	$[m_N^3.s^{-1}]$	skutečné množství spalin v dohořivací komoře
$V_{SP,CELK}$	$[m_N^3.s^{-1}]$	celkové množství spalin z odpadu a plynu
V_{SSO}^t	$[m_N^3.kg^{-1}]$	teoretické množství suchých spalin z odpadu
V_{SVO}^t	$[m_N^3.kg^{-1}]$	teoretické množství vlhkých spalin z odpadu
V_{SVP}^t	$[m_N^3.m_N^{-3}]$	teoretické množství vlhkých spalin z plynu
V_{VYP}^t	$[m_N^3.m_N^{-3}]$	teoretické množství vlhkého spalovacího vzduchu pro zemní plyn
V_{V1}	$[m_N^3.s^{-1}]$	průtok primárního spalovacího vzduchu při teplotě vzduchu t_{v1} pro skutečný stav
V_{V2}	$[m_N^3.s^{-1}]$	průtok sekundárního spalovacího vzduchu při teplotě vzduchu t_{v2} pro skutečný stav
V_{VN1}	$[m_N^3.s^{-1}]$	průtok primárního spalovacího vzduchu
V_{VN2}	$[m_N^3.s^{-1}]$	průtok sekundárního spalovacího vzduchu
V_{VVO}^t	$[m_N^3.kg^{-1}]$	teoretická spotřeba vlhkého spalovacího vzduchu pro odpad
V_{VYP}^t	$[m_N^3.m_N^{-3}]$	teoretická spotřeba vlhkého spalovacího vzduchu pro plyn
W	$[-]$	množství vody v odpadu
w_{s1}	$[m.s^{-1}]$	rychlost proudění spalin v rotační peci
w_{s2}	$[m.s^{-1}]$	rychlost proudění spalin v dohořivací komoře
w_m	$[m.s^{-1}]$	postupná rychlost materiálu v rotační peci
α	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$	součinitel přestupu tepla
α_K	$[^\circ]$	úhel rozevření kladek
α_S	$[^\circ]$	úhel sklonu pece

η	[-]	účinnost ozubeného převodu
ρ_{Fe}	[Kg.m ⁻³]	hustota oceli
ρ_v	[Kg.m ⁻³]	hustota vyzdívky
τ_1	[s]	doba setrvání materiálu v rotační peci
τ_2	[s]	doba setrvání spalin v dohořivací komoře
TZL	[mg/m ³]	Tuhé znečišťující látky
TOC	[mg/m ³]	Organické látky v plynné fázi vyjádřené celkovým obsahem organ. uhlíku
CO	[mg/m ³]	Plynné sloučeniny chloru vyjádřené jako HCl
O₂	[mg/m ³]	Kyslík
SO₂	[mg/m ³]	Oxid siřičitý
NO₂	[mg/m ³]	Oxid dusnatý a dusičitý vyjádřené jako NO ₂
HCl	[mg/m ³]	Plynné sloučeniny chloru vyjádřené jako HCl
HF	[mg/m ³]	Plynné sloučeniny fluoru vyjádřené jako HF
Cd	[mg/m ³]	Kadmium a jeho sloučen. vyjádřené obsahem Cd
Tl	[mg/m ³]	Thalium a jeho sloučeniny vyjádřené obsahem Tl
Hg	[mg/m ³]	Rtuť a její sloučeniny vyjádřené obsahem Hg
Sb	[mg/m ³]	Antimon a jeho sloučeniny vyjádřené obsahem Sb
As	[mg/m ³]	Arzén a jeho sloučeniny vyjádřené obsahem As
Pb	[mg/m ³]	Olovo a jeho sloučeniny vyjádřené obsahem Pb
Co	[mg/m ³]	Kobalt a jeho sloučeniny vyjádřené obsahem Co
Cu	[mg/m ³]	Měď a její sloučeniny vyjádřené obsahem Cu
Mn	[mg/m ³]	Mangan jeho sloučeniny vyjádřené obsahem Mn
Ni	[mg/m ³]	Nikl a jeho sloučeniny vyjádřené obsahem Ni
V	[mg/m ³]	Vanad a jeho sloučeniny vyjádřené obsahem V
PCDD/F	[mg/m ³]	Dioxiny / Furany

1. ÚVOD

V dnešní době se problematika zpracování, zneškodňování a následné ukládání odpadu stává čím dál větším problémem jak v ohledu ekologickém, tak finančním. Řešením této složité problematiky se zabývá odpadové hospodářství. Hlavním cílem odpadového hospodářství je předcházet vzniku odpadu. Pokud již odpad vznikl, tak s ním nakládat tak, aby mohl být maximálně využitý jako druhotná surovina a aby minimálně narušoval životní prostředí.

Tato práce se zabývá spalováním odpadu v rotační spalovací peci s dohořivací komorou, což je možnost zpracování širokého spektra odpadu. Pro řadu odpadů (např. nemocniční, průmyslový odpad) je to prakticky jediný způsob odstranění, přičemž zbytek po spalování je tuhý, sterilní a většinou nepodléhá dalšímu rozkladu. Toto znatelně snižuje zdravotní rizika odpadů patologických, případně vznikajících v souvislosti se zdravotními epidemiemi.

V provozu je přibližně třicet spaloven nebezpečných odpadů. Většinou spalují nemocniční a průmyslové odpady. Spalovny komunálního i nebezpečného odpadu mají velmi přesně vymezeno, co smí přijmout ke spálení. Seznam těchto odpadů podléhá schválení několika úřadů a přísně se kontroluje. Jejich technologie je nastavena na druhy odpadů, které mají povoleny (rozhodující je výhřevnost nebo to, zda jde o odpady pevné či kapalné). Český hydrometeorologický ústav (www.chmi.cz) – vede registr emisí a zdrojů znečišťování, jeho součástí je i evidence spaloven odpadů.

2. LEGISLATIVA PRO ODSTRAŇOVÁNÍ ODPADŮ [18]

86/2002 Sb. Zákon o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší)

Spalovny odpadů, patří do kategorie zvláště velkých nebo velkých stacionárních zdrojů a podle druhu spalovaného odpadu se rozlišují:

- a) spalovny nebezpečného odpadu,
- b) spalovny komunálního odpadu
- c) spalovny jiného než nebezpečného a komunálního odpadu.

Do kategorie zvláště velkých stacionárních zdrojů se zařazují spalovny:

- a) pokud jejich jmenovitá provozní kapacita množství odstraňovaného odpadu je větší než 10 tun za den,
- b) pokud jejich jmenovitá provozní kapacita množství odstraňovaného odpadu je větší než 3 tuny za hodinu, nebo
- c) pokud jejich jmenovitá provozní kapacita množství odstraňovaného odpadu je větší než 50 tun za den..

185/2001 Sb. Zákon o odpadech

Zákon o odpadech je základním českým zákonem pro oblast odpadového hospodářství. Zavedl takzvanou "hierarchii odpadů", kde na prvním místě stojí předcházení vzniku odpadů a na druhém místě je znovu použití již nepotřebných výrobků. Pro odpady pak dále platí, že materiálové využívání odpadů (recyklace) má mít přednost před energetickým využíváním, a to by zase před odstraňováním odpadů (tedy skládkováním).

Zákon o odpadech definuje tyto základní pojmy:

ODPAD - je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl, povinnost se jí zbavit z hlediska péče o zdravé životní podmínky a ochrany životního prostředí.

NEBEZPEČNÝ ODPAD – pro své fyzikální, chemické nebo biologické vlastnosti vyžaduje odpovídající zacházení. Odpad, který svými vlastnostmi je nebo může být nebezpečný pro zdraví obyvatelstva nebo životní prostředí. Nebezpečné odpady jsou označeny symbolem *. Odpad je uvedený v seznamu nebezpečných odpadů (vyhl. 381/2001 Sb. – příloha B,C). Nemocniční odpad (viz příloha A) spadá do kategorie nebezpečných

odpadů. Jedním ze způsobu jeho likvidace je spalování v rotační spalovací peci. Odpady lze spalovat jsou-li splněny podmínky stanovené právními předpisy o ovzduší a o hospodaření energií.

2.1 Hodnocení nebezpečných vlastností odpadů

vyhl. č. 376/2001 Sb., o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů

Účelem této vyhlášky je podle zmocnění uvedených v zákoně o odpadech stanovit:

1. Obsah žádosti o udělení pověření k hodnocení nebezpečných vlastností odpadů a o zápis do seznamu pověřených osob
2. Obsah školení pro hodnocení nebezpečných vlastností odpadů
3. Kritéria, metody a postup hodnocení nebezpečných vlastností odpadů
4. Obsah žádosti o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů a obsah osvědčení o vyloučení nebezpečných vlastností odpadů

2.2 Hodnocení odpadů ze zdravotnických zařízení dle WHO – World Health Organization (Světová zdravotnická organizace)

Odpad ze zdravotnických zařízení lze obecně rozdělit do dvou skupin skupin, odpad specifický pro zdravotnická zařízení a odpad ze zdravotnických zařízení neznečištěný škodlivinami

I. Specifický pro zdravotnická zařízení znečištěný škodlivinami

- 1) Infekční odpad, jeho části mohou obsahovat patogenní mikroorganismy (nebo jejich toxiny) v dostatečné koncentraci, aby způsobily onemocnění. Infekční odpad zahrnuje materiály a vybavení, které byly ve spojení s tělesnými tekutinami (obvazy, krevní konzervy...). Tato kategorie také zahrnuje tekutý odpad (krev, moč...) nebo jiné tělesné tekutiny (hleny...).
- 2) Patologicko-anatomický odpad, zahrnuje orgány, tkáně nebo tělní tekutiny je z bezpečnostních důvodů považován za infekční. Anatomický odpad je podskupina patologického odpadu a jde o rozeznatelné části lidských těl. Je považován za potenciálně infekční, ale může být rozhodnuto o jeho bezinfekčnosti.
- 3) Farmaceutický odpad, obsahuje prošlé, rozlité a znečištěné farmaceutické výrobky a léky. Tato skupina také zahrnuje použité obaly od léku, lahve a tuby. Dále zahrnuje všechny léky a vybavení použité na přípravu cytotoxických léků.
- 4) Chemický odpad, vyřazené chemikálie, vzniklé během dezinfekčních procedur nebo čištění. Může mít nebezpečné vlastnosti (jedovatý).
 - a) Odpad s vysokým obsahem těžkých kovů a jejich derivátů, může být vysoce jedovatý (např. rtuť s teploměry).
- 5) Ostrý odpad, může způsobit řezná nebo bodná poranění (jehly, skalpely). Znečištěný nebo neznečištěný je považován za vysoce nebezpečný a potenciálně infekční odpad.
- 6) Vysoce infekční odpad, mikrobiální kultury a vysoce infekční činitele z diagnostických laboratoří. Součástí jsou tělesné tekutiny pacientů s vysoce infekčními nemocemi.
- 7) Cytotoxické/genotoxické odpady, léky, které mají schopnost snížit nebo zastavit růst jistých živých buněk (chemoterapií při léčbě rakoviny).
- 8) Radioaktivní odpad, zahrnuje kapaliny, plyn a pevné látky kontaminované radionuklidy, jejich ionizační záření má genotoxické účinky. Vztahuje se zde zákon č.18/1997 Sb. O mírovém využívání atomové energie a ionizujícího záření.

II. Odpad ze zdravotnických zařízení neznečištěný škodlivinami

Tento odpad pochází výhradně z neinfekčních oddělení:

- kuchyňský odpad
- kancelářský odpad
- textilní odpad
- jiné druhy odpadů

2.3 Nakládání s odpady ze zdravotnického zařízení

Pokyny pro nakládání s odpady ze zdravotnictví musí obsahovat jednotlivé postupy nakládání s odpady od místa jejich vzniku až po jejich odstranění

Pokyny obsahují:

- identifikační údaje a číslo původce odpadů (adresa, statutární zástupce) dle zákona č. 185/2001
- významná telefonní čísla (hasiči, záchranná služba, ústavní hygienik atd.)
- seznam odpadů podle katalogu odpadů včetně specifikace jednotlivých odpadů
- organizace nakládání s odpady (zodpovědné osoby) a třídění odpadů
- značení obalů, nádob kontejnerů
- pokyny pro shromáždění nebo skladování odpadů
- pokyny pro transport odpadů
- opatření pro případ havárie (postup při rozsypání, úniku odpadů)
- podmínky pro dekontaminaci odpadů
- způsob zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci s odpady (pracovní pomůcky)
- způsob školení zaměstnanců
- identifikační listy nebezpečných odpadů a grafické symboly nebezpečných vlastností odpadů

Součástí provozního řádu zdravotnického zařízení musí být i nakládání s mrtvými lidskými těly a dále pak nakládání s částmi těl (amputované končetiny). Nakládání s nimi se řídí těmito zákony: zákon č. 20/1966 Sb., péče o zdraví lidu, ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 256/2001 Sb., pohřebnictví a o změně některých zákonů, v platném znění, zákon č. 285/2002 Sb., darování, odběrech a transplantacích tkání a orgánů a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

Vyhláška č. 383/2001 o podrobnostech nakládání s odpady.

Obsahem vyhlášky o podrobnostech nakládání s odpady je kromě jiného výčet požadavků a podmínek nutných k udělení povolení k provozování zařízení. Vyhláška se dále zabývá zejména podmínkami provozu skládek odpadů, dále pak podmínkami čerpání finanční rezervy na rekultivaci a sanaci skládek a podmínkami pro nakládání s vybranými druhy odpadů.

Nařízení vlády č. 197/2003 Sb. o Plánu odpadového hospodářství ČR.

Plán odpadového hospodářství ČR (POH ČR) je nástrojem řízení odpadového hospodářství. Plány odpadového hospodářství jednotlivých krajů, které vycházejí z "celorepublikového" .

Nařízení vlády č. 354/2002.

Toto nařízení vlády stanovuje emisní limity (viz. tab.1) provozní podmínky pro spalovny odpadu a zařízení schválená pro spoluspalování odpadu. Tato norma v sobě zahrnuje odpovídající ustanovení Směrnicí Rady 89/369/EHS, o předcházení znečišťování ovzduší z nových spaloven komunálního odpadu, Směrnicí Rady 94/67/ES, ke spalování nebezpečného odpadu a Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2000/76/ES, o spalování odpadu.

tab.č.1 Emisní limity pro spalovny odpadů

Veličina	Způsob měření	Četnost měření	Limit koncentrací mg/m ³
TZL	Kontinuálně	Kontinuálně, 1x ročně ověřit jednorázově	10 průměrná denní hodnota 30 průměrné půlhodiny 100% A 10 průměrné půlhodiny 97% B
TOC	Kontinuálně	Kontinuálně, 1x ročně ověřit jednorázově	10 průměrná denní hodnota 20 průměrné půlhodiny 100% A 10 průměrné půlhodiny 97% B
CO	Kontinuálně	Kontinuálně, 1x ročně ověřit jednorázově	50 průměrná denní hodnota 100 průměrné půlhodiny 100 %
O₂	Kontinuálně	Kontinuálně, 1x ročně ověřit jednorázově	Není stanoven, slouží k výpočtům
SO₂	Jednorázově	2x ročně	50 průměrná denní hodnota 200 průměrné půlhodiny 100% A 50 průměrné půlhodiny 97% B
NO₂	Kontinuálně	Kontinuálně, 1x ročně ověřit jednorázově	400 průměrná denní hodnota ⁽¹⁾ 200 průměrná denní hodnota ⁽²⁾ 400 průměrné půlhodiny 100% A 200 průměrné půlhodiny 97% B
HCl	Jednorázově	2x ročně	10 průměrná denní hodnota 60 průměrné půlhodiny 100% A 10 průměrné půlhodiny 97% B
HF	Jednorázově	2x ročně	1 průměrná denní hodnota 4 průměrné půlhodiny 100% A 2 průměrné půlhodiny 97% B
Tl+Cd	Jednorázově	2x ročně	0,05 ⁽³⁾
Hg	Jednorázově	2x ročně	0,05 ⁽³⁾
Sb+As+Pb+Co +Cu+Mn+Ni+V	Jednorázově	2x ročně	0,5 ⁽³⁾
PCDD/F	Jednorázově	2x ročně 1 jednotlivé měření	0,0001

⁽¹⁾ Pro stávající spalovny o jmenovité kapacitě nad 6t/hod a nové spalovny. S platností nejdéle do 1.1. 2008 se emisní limit nevztahuje pouze na spalování nebezp. odpadu.

⁽²⁾ Pro stávající spalovny o jmenovité kapacitě do 6t/hod

⁽³⁾ Celkem 0,1mg/m³ přípustné do 1.1. 2007 u stávajících zařízení, která byla uvedena do provozu před 31. 12. 1996 a která spalují pouze nebezpečné odpady.

2.4 Podmínky pro konstrukci a provoz spalovacího zařízení

Spalovny odpadu se projektují, staví a vybavují, provozují způsobem, který zaručuje, že:

- se na nejmenší možnou míru potlačí obtěžování zápachem. V zásobníku odpadu spaloven se trvale udržuje podtlak a odsávaný vzduch se odvádí do ohniště. V případě kapalných odpadů, vzdušina odsávaná z místa odčerpávání, musí být zavedena do spalovacího prostoru. Pokud je spalovací zařízení mimo provoz musí se odsávaný vzduch rozptýlovat ve výšce určené orgánem ochrany ovzduší,
- infekční nemocniční odpad musí být přikládán přímo do pece bez toho, aby byl nejdříve smíšen s jinými kategoriemi odpadu nebo s ním bylo jinak manipulováno,
- spalování zvláštního odpadu musí být dovybavený dodatečným spalováním. Ve spalovacím prostoru za posledním přívodem vzduchu se musí udržovat taková teplota, která zabezpečuje termickou a oxidační destrukci všech nebezpečných látek a která bude nejméně 900 °C po dobu 1 s při obsahu O₂ nejméně 6 %,
- spalování zvláštního odpadu obsahujícího vysoce stabilní organické látky, např. typu polychlorovaných bifenyly (PCB), musí se ve spalovacím prostoru za posledním přívodem vzduchu udržovat teplota nejméně 1200 °C při době setrvání spalin v tomto prostoru po dobu nejméně 2 sec,
- vybavení automatickým systémem, který zabráňuje přívodu odpadu, pokud není dosaženo předepsané teploty, nebo jsou překročeny emisní limity,
- aby emise významně neznečišťovaly přízemní vrstvy ovzduší, tak se plyny vznikající při procesu vypouští řízeným způsobem pomocí komínu,
- k monitorování provozních parametrů, podmínek a hmotnostních koncentrací stanovených pro spalování odpadů musí být instalována příslušná měřící zařízení,
- kontinuální měření látek a to oxidů dusíku vyjádřených jako oxid dusičitý (dále jen NO_x), za předpokladu, že jsou stanoveny emisní limity, oxidu uhelnatého (dále jen CO), tuhých znečišťujících látek (dále jen TZL), celkového organického uhlíku (dále jen TOC), anorganických sloučenin chloru vyjádřených jako chlorovodík (dále jen HCl), anorganických sloučenin fluoru vyjádřených jako fluorovodík (dále jen HF) a oxidu siřičitého (dále jen SO₂);
- jednorázové měření těžkých kovů obsažených v tuhé, kapalně a plynné fázi včetně jejich sloučenin, pro něž jsou stanoveny emisní limity dioxinů a furanů, a to nejméně dvakrát za rok v intervalech ne kratších než 3 měsíce apod.,
- zbytky vznikající při provozu spalovny musí být znovu využity nebo minimalizovány a zneškodněny

3. SPALOVÁNÍ ODPADU

3.1 Základní podmínky při spalování

Pro spalování nemocničního odpadu platí stejné podmínky jako pro tuhý nebezpečný odpad. Spalování odpadu probíhá složitými oxidačními procesy. Odpady se zahřívají předeheřtým vzduchem nebo stykem s horkými spalinami sáláním ze stěn pece.

- 1) **Dostatek spalovacího vzduchu**, který je přiváděn s 1,5 až 2-násobným přebytkem. Složení odpadů je různorodé a je nevyhnutelné zaručit přebytek vzduchu za každých podmínek [3].
- 2) **Dostatek tepla**, nutný k rychlému zahřátí odpadu na zápalnou teplotu. Při pomalém zahřívání odpad se část škodlivin nemusí spálit. Při zahřátí na zápalnou teplotu (250 – 400°C) se odpaří a uniká do ovzduší [3].
- 3) **Teplota hoření** v prostoru dohořívající komory nesmí klesnout pod 800°C vzhledem k zápalné teplotě sazí, která se pohybuje mezi 700 až 750°C. V dohořívající komoře je udržována teplota 1200°C [3].
- 4) **Setrvání spalin v pásnu vysokých teplot** musí být minimálně 2 vteřiny, aby došlo k vyhoření spalovaných látek [3].

3.2 Výhody a nevýhody spalování

Výhody spalování

- rychlý proces zneškodňování odpadů, stabilizace odpadů na skládkách trvá několik let a u běžných spaloven zůstávají odpady v peci cca jednu hodinu,
- výrazné snížení objemu odpadů (zpravidla na 10 až 20 % objemu původního),
- snížení konečné hmotnosti odpadů (na 20 - 33 % hmotnosti původní),
- zbytek po spalování je tuhý, sterilní a nepodléhá rozkladu,
- pro likvidaci některých odpadů (nebezpečné, průmyslové a nemocniční) je spalování jedinou vhodnou alternativou,
- uvolnění tepelné energie s možností dalšího využití (ohřev vody, výroba páry nebo elektrické energie),
- možnost využití vzniklé škváry pro stavební účely,
- převedení původních odpadů do formy vhodné pro konečné uložení na skládce nebo pro další úpravu (solidifikace, bitumenace, vitrifikace).

Nevýhody spalování

- vysoké náklady na výstavbu a bezpečný provoz spaloven,
- náklady na svoz odpadů do spalovny (proto se budují blízko měst),
- dodatečné náklady na čištění plyných produktů spalování na úroveň požadovanou platnou legislativou,
- emise některých plyných škodlivin se nedají dokonale odstranit,
- vysoké požadavky na kvalifikovanou obsluhu pro provoz a údržbu spalovny,
- spálení odpadů nevratně znemožňuje jejich recyklaci, kompostování nebo jiné využití,
- v některých případech vznikají problémy s odbytem vyrobeného tepla

3.3 Termické metody odstraňování odpadů

Základní kritérium pro rozdělení termických procesů pro využití odpadů je přijmout stav prostředí v reakční komoře, charakterizovaný obsahem kyslíku vůči zneškodňované odpadní látce. Podle tohoto hlediska rozlišujeme:

- **Procesy oxidační**, procesy termického využití odpadů - spalování, při nichž je obsah kyslíku v reakčním prostoru stechiometrický nebo vyšší vzhledem k obsahu hořlavých látek ve zpracovávaném odpadu.. Další rozdělení oxidačních (spalovacích) procesů je pak možné provést podle teplot v reakčním prostoru :
 - nízkoteplotní - s teplotou ve spalovacím kotli do 1 000°C,
 - vysokoteplotní - s teplotou ve spalovacím kotli nad 1 000°C.

K tomu existuje početná skupina technologií kombinovaných tj. nízkoteplotní spalování s dohořivací komorou (eventuálně ještě pomocným palivem přitápěnou).

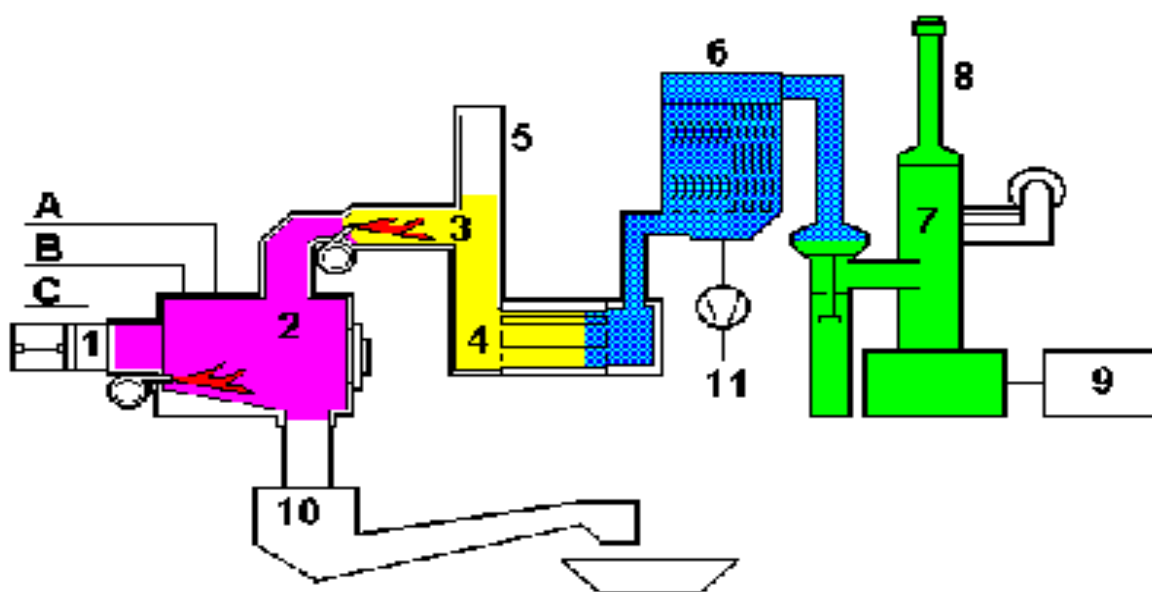
- **Procesy redukční**, procesy termického využití odpadů - pyrolýza a zplynování, při nichž je obsah kyslíku v reakčním prostoru nulový nebo nižší než stechiometrický vzhledem k obsahu hořlavých látek ve zpracovávaném odpadu [3].

tab. č.2 Srovnání jednotlivých technologií [5]

	Pyrolýza	Zplyňování	Spalování
Předcházející kroky	Sušení	Sušení, odplynění	Sušení, odplynění, zplynění
Reakce (příklady)	Krakování uhlovodíků $C_n H_m \rightarrow xCH_4 + yH_2 + zC$ $CH_4 + H_2O \leftrightarrow CO + 3H_2$ Reakce vodního plynu(část) $C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2$ $C + CO_2 \leftrightarrow 2CO$	Krakování uhlovodíků $C_n H_m + O_2 \rightarrow xCO_2 + yH_2O$ Místní spalování $C + O_2 \leftrightarrow CO_2$ Reakce vodního plynu $C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2$ $C + CO_2 \leftrightarrow 2CO$	Krakování uhlovodíků $C_n H_m + O_2 \rightarrow xCO_2 + yH_2O$ Spalování uhlíků $C + CO_2 \leftrightarrow 2CO$ $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$
Kyslík (přebytek)	0	podstechiometrické	Stechiometrické, př. nadstechiometrické
Přebytek vzduchu	0 (teor.); <0.2 (prakt.)	<1 (0,2 = 0,5)	1
Teplota °C	400 = 700 (1000)	700 = 900	800 = 1 300 (2 000)
Tlak MPa	<< 0,1	≅ 0,1	>>0,1
Doba setrvání	Sekundy	Minuty až hodiny	Hodiny až dny
Produkty	Pyrolýzní plyn Dehty Odpadní voda/Pyrolýzní koks	Syntézní plyn, Dehty Polel/Strusky	Spaliny Popel/Struska
Použití	Plynová turbína, plyn je využíván uvnitř procesu, pyrolýzní koks vychází jako vedlejší produkt	Syntézní plyn jako výchozí základ, příklad využití jako palivo nebo metan a palivové články	Výroba horké vody pro topení a horkých plynů pro výrobu elektrického proudu

1) Pyrolýza

- tepelný rozklad organických látek za nepřístupu oxidačních médií (vzduch, kyslík, oxid uhličitý, vodní pára), při němž se organické látky rozpadají na jednoduché těkavé produkty a koks
- je tepelný rozklad organických materiálů bez přístupu vzduchu, kyslíku, oxidu uhličitého a vodní páry
- odpad se zahřívá ve spalovací komoře teplem z přídavného paliva za nedostatku vzduchu (vzniklý pyrolýzní plyn se potom vede do dohořivací komory, kde se spaluje)
- vhodné pro odpady neměnného složení
- pyrolýza je nákladnější než spalování
- objem plynů k čištění je menší; použitím nižší teploty než je teplota tavení anorganických podílů (sklo, kovy, soli) je možné je z popele separovat.



1 - podávací zařízení 2 - pyrolýzní komora 3 - spalovací komora 4 - výměník tepla
 5 - havarijní komín 6 - filtr spalin 7 - třístupňová pračka spalin 8 - komín čistých spalin s
 odlučovačem kapek a aerosolů 9 - úprava odpadní vody 10 - kontinuální odpopelnění
 11 - odpopelnění filtrů A,B,C - vstřikování vody, podávání kapalných odpadů, podávání
 pevných odpadů

2) Zplyňování odpadů

- tepelný rozklad za podstechiometrického obsahu kyslíku a za přítomnosti vodní páry směřující ke vzniku plyných hořlavých látek
- konverze materiálů obsahujících uhlík a vodík při teplotách až 1600 °C
- endotermický proces
- probíhají oxidační a redukční reakce (silněredukční prostředí rozrušuje chlorované uhlovodíky)
- vysoká teplota zabraňuje vzniku dioxinů a polycyklických aromatických uhlovodíků
- redukční prostředí brání vzniku oxidů dusíku
- vznik hořlavého plynu (CO, CH₄, H₂,...) [3]

3) Spalovny a spalovací zařízení

Rozhodnutí, zda spalování určitého druhu odpadu je skutečně vhodnou metodou jeho zneškodňování, následuje po zvážení následujících kritérií:

- výhřevnost odpadu a požadavky na podpůrné palivo,
- obsah vody v odpadu,
- konzistence odpadu a jeho chemické složení,
- korozivní vlastnosti odpadu a produktů vznikajících spalováním,
- dostupnost alternativních metod zneškodňování,
- dostupnost vhodného spalovacího zařízení s důrazem na:
 - očekávané látky znečišťující životní prostředí vznikající spalováním
 - dopad spalování na životní prostředí a přímý vliv na zdraví lidí.

Podle uspořádání spalovacího prostoru rozlišujeme spalovací zařízení na:

- roštové pece s různými rošty - horizontálními (pevné, posuvné), se stupňovými (posuvnými, příklopnými), válcovými;

Podpírání odpadu při hoření, přívod dostatečného množství spalovacího vzduchu, dokonalé vyhoření odpadu, odvod tuhých zbytků po spálení. Mezi hlavní nevýhody patří nízké teploty, které neumožňují produkci strusky, nehomogenní prohořívání odpadů na roštu.

- rotační pece

U rotačních pecí lze lépe dosáhnout rovnoměrného hoření odpadu a lze docílit i vyšších teplot v pecním prostoru. Výhodou rotačních pecí je dosažení vysoké spalovací teploty a tím i škváry jako pevného odpadu ze spalovacího procesu ve vitrifikovaném stavu.

- fluidní pece

Dobrým přenosům, tepla homogennímu spalování, schopnosti docílit vysokých procesních teplot. Požadavek je úprava odpadu drcením. Je vhodné pro spalování odpadů s vyšším obsahem síry. Nevýhodou je značný úlet pevných částic se spaliny.

- speciální techniky (unášené lože, cyklony, apod.)

Používají se např. pro spalování kalů z čistíren odpadních vod. Čistírenské kaly před jejich zneškodněním spalovacím procesem je nutné vysušit [14].

4. SPALOVNY S ROTAČNÍ PECÍ

Pro spalování nejen nemocničních odpadů jsou ideální rotační pece viz. *obr.č.1*, neboť jsou to univerzální zařízení. Úspěšně spalují prakticky všechny druhy odpadu, průmyslových, komunálních, kašovitých a kapalných. Velikost odpadu je omezená rozměrovými možnostmi dávkovacího zařízení a dobou setrvání v peci k dokonalému vyhoření. Toto zařízení je schopno zneškodnit většinu toxických látek [11].

Výhodou rotační pece oproti ostatním spalovacím zařízením:

- rotaci pece dochází k neustálému přehrnování a pohybu odpadu v peci, to zabezpečuje dostatečný přívod spalovacího vzduchu a nedochází ke spékání materiálu
- přenos tepla se uskutečňuje sáláním plamene a vyzdívky, konvencí spalin, vedením spodní části vyzdívky
- možnost kombinace souproudu a protiproudu materiálu a spalin
- možnost regulace spalování a výkonu zařízení změnou otáček, popř. sklonu pece
- přizpůsobivost pece různým odpadům a různým spalovacím režimům
- spalování kapalných odpadů nevyžaduje žádná speciální zařízení, postačí jeho přímé vstřikování do prostoru pece

Spalovací zařízení obsahuje:

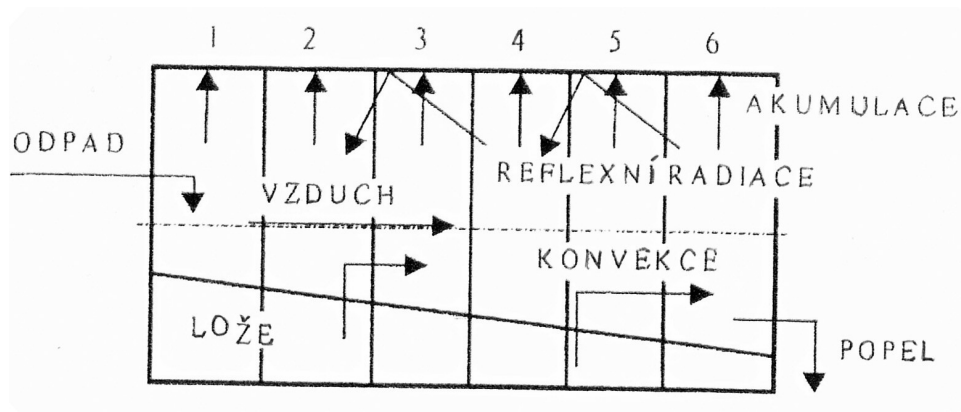
- Násypku s podávacím zařízením
- Rotační pec s příslušenstvím
- Dohořivací komoru s příslušenstvím



obr. č.1 Spalovna s rotační pecí

4.1 Spalování v rotační peci

Spalování v rotační peci se uskutečňuje v šesti fázích viz *obr.č.2*.



obr.č 2: Spalování v rotační peci

1) Fáze – vysoušení

Působením přenosu tepla zářením z plamene a spalin i vrchní části vyzdívky, kondukcí spodní části vyzdívky a kovekcí spalovacího vzduchu, proudícího při povrchu lože odpadů. Teplota lože odpadů se pohybuje mezi 50°C až 100°C, při dosažení horní hranice teploty dochází k vypaření vlhkosti obsažené v odpadu .

2) Fáze – zplyňování

Působením ohřívajícího se spalovacího vzduchu, se lože odpadů ohřívá shora i zespodu při promíchávání odpadu, nepřetržitým otáčením pece. Při teplotě 300°C až 800°C dochází k postupné přeměně hořlavých látek odpadů na těkavé složky a vázaný uhlík, vzniklé plyny prostupují ložem na vsázku.

3) Fáze - zapálení

Na povrchu lože odpadů dochází ke vznícení směsi těkavých složek (karbonizačního plynu) s přiváděným spalovacím vzduchem a vzniku místních ohnisek hoření.

4) Fáze - prohořívání

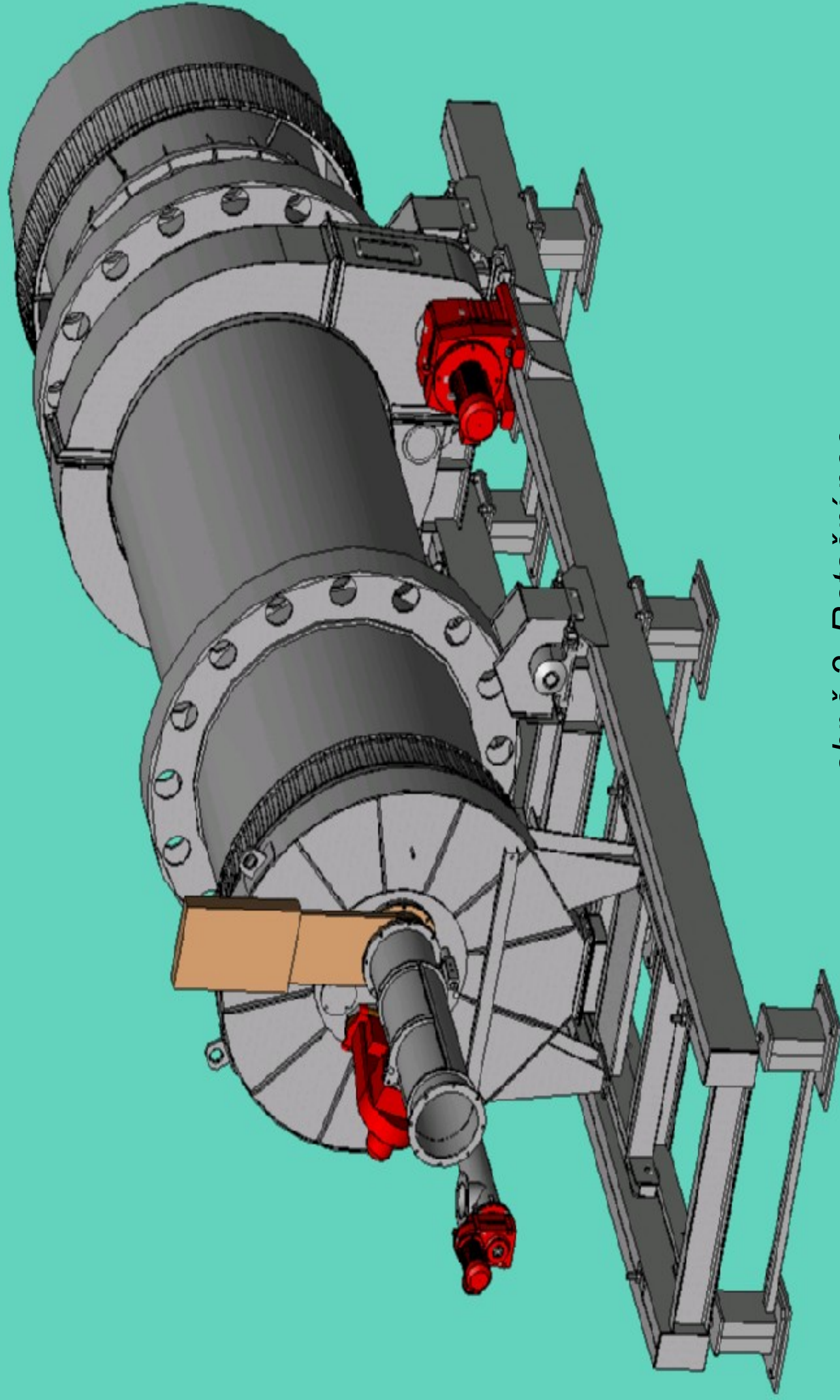
Důsledkem postupného vzrůstu teploty odpadového lože na teplotu cca 800°C dochází k stálému vyvinu karbonizačního plynu i ve vnitřních vrstvách lože a jeho postupné prohořívání i do větších hloubek a spojení jednotlivých ložisek hoření.

5) Fáze – hoření

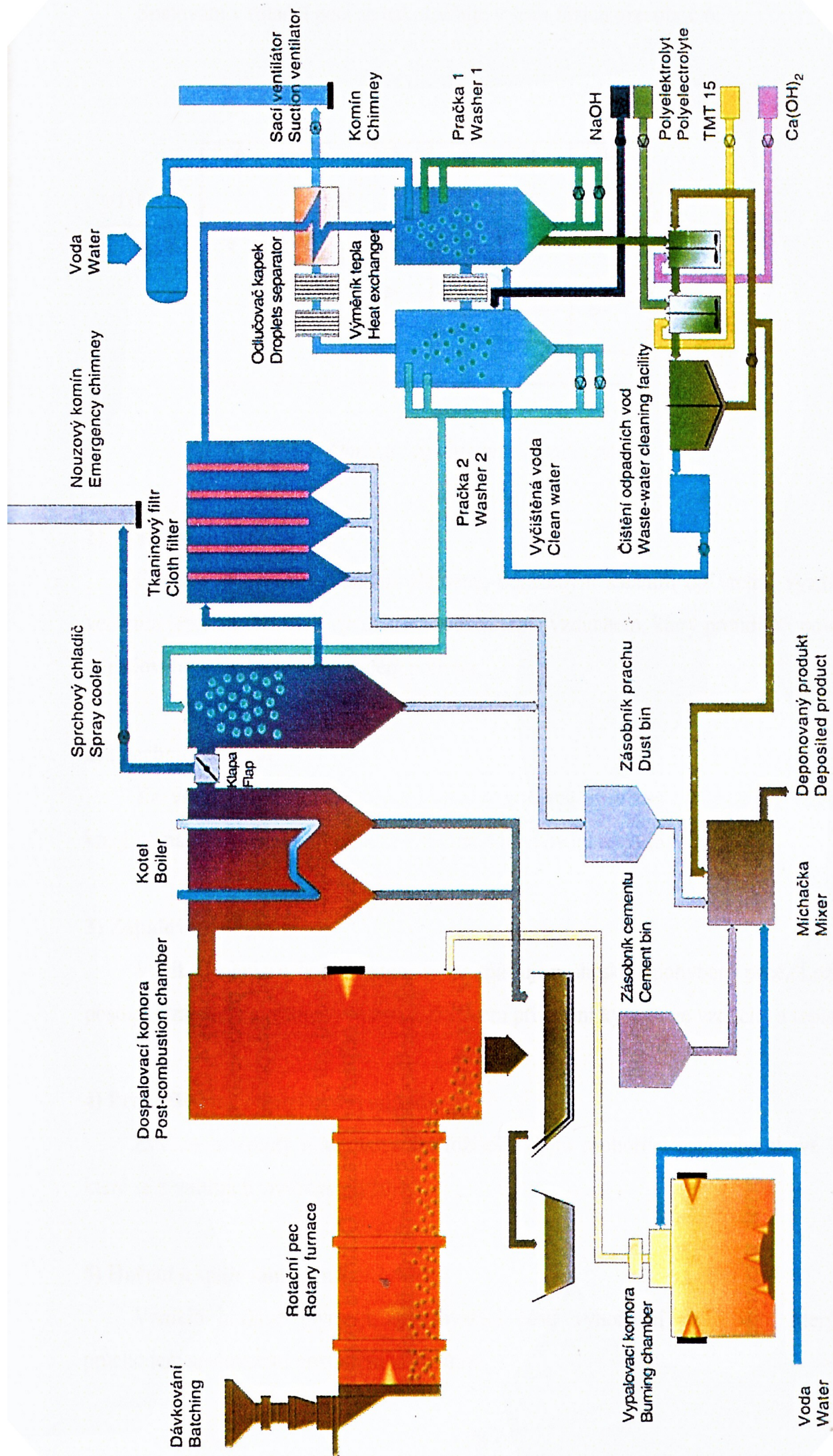
Důsledkem postupného hoření dalších vrstev zkoksovatělé části odpadů dochází ke zvyšování teploty na cca 1 100°C až 1 200°C.

6) Fáze - vyhořívání.

Dochází ke spalování zbývajících hořlavých součástí odpadu se zbytkem dosud nespáleného spalovacího vzduchu. U rotační pece pracující v souproudu není možný postupný přívod spalovacího vzduchu do jednotlivých pásem, musí být na vstupu do pece přiváděno tolik vzduchu, aby jej bylo ve všech fázích dostatečný přebytek [1].



obr.č.3 Rotační pec



obr. č.4 Technologické schéma rotační spalovny čištění spalin [13]

5. NÁVRH SPALOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Spalovna je určená pro spalování odpadů kategorie N. Zadaný jmenovitý výkon spalovacího zařízení je 400 kg/hod. Spalovací část tvoří rotační pec a dohořivací komora.

Rotační pec je vyzděný válec s mírným konstantním sklonem $\alpha_s = 3^\circ$, který se pomalu otáčí a tím zajišťuje mísení odpadů. Regulace pohybu materiálu v peci je prováděná změnou otáček pece. Nejlépe bude vyhovovat souproudé uspořádání toku odpadu, stabilizačního paliva a spalin.

Odpad je do spalovací komory dávkován pomocí hydraulicky ovládaného automatického podavače, který ústí do čela pece pod sklonem 20° a směrem k peci se mírně rozšiřuje. To brání ucpávání a usnadňuje pohyb odpadu, vhání do ohniště i část řízeného primárního vzduchu. Zbylá část je vedena trubkami po obvodu dávkovacího tunelu a vytváří vzduchovou clonu, která brání zpětnému vyšlehnutí plamene a současně chladí čelo pece. Interval plnění lze regulovat v závislosti na druhu a výhřevnosti odpadu. Kapalný odpad je dávkován přímým vstřikováním do primární komory.

V primární spalovací komoře opatřené žáruvzdornou a izolační vyzdívkou je v čele umístěn hořák spalující zemní plyn, který slouží k vyhřátí komory před spalováním a k podpoře a stabilizaci hoření odpadu. Teplota na začátku pece se pohybuje kolem 1000°C . Ve spalovací komoře jsou odpady spalovány za přívodu stechiometrického množství primárního spalovacího vzduchu tak, aby teplota nepřesáhla 1200°C . V případě překročení této teploty je snížena přívodem vody pomocí rozprašovače umístěného ve stropě komory. V místě přepážky, mezi primární spalovací komorou a prvním tahem dohořivací komory, jsou zaústěny trysky přívodu sekundárního vzduchu, který je přiváděn v přebytku.

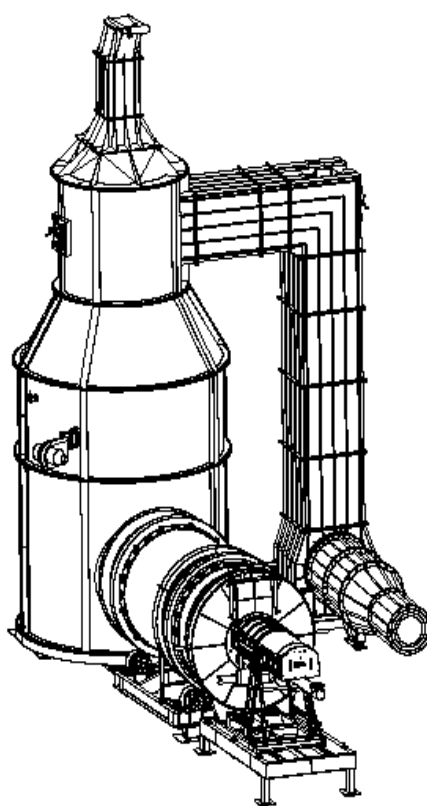
Odpopelňování probíhá nepřetržitě a popel je přes vodní uzávěr vynášen hrablovým dopravníkem do kontejneru, který je umístěn ve skladu tuhých odpadů. Vznikající pára (chlazení popela) vstupuje do spalovací komory a mísí se se spaliny.

Zadní stěna spalovací pece je otevřená a ústí do dohořivací komory. Dohořivací komora je vyzděná válcová komory opatřená izolační a žáruvzdornou vyzdívkou. V horní části je uložen pomocný stabilizační hořák na zemní plyn. Její konstrukce umožňuje dodržet garantovanou provozní teplota 1200°C a dobu zdržení spalin minimálně 2 sekundy za všech provozních podmínek. Pro případ poruchy je vybavena nouzovým komínem, jehož klapka se ovládá pneumatickým válcem. Do dohořivací komory je přiváděn řízený sekundární vzduch pomocí paralelně řazených trisek připojených přírubami ke vzduchotechnice. Komory jsou vybaveny průhledítky a vyzděnými dvířky. Na

výstupu spalin z dopalovací komory je umístěna kyslíková sonda, která umožňuje kontrolu přebytku kyslíku ve spalinách a automatické ovládání sekundárního ventilátoru.

System rekuperace tepla je tvořen horkovodním kotlem ležatým žárotrubným.

Řízení provozu spalovny je řešeno pomocí počítače, jehož prostřednictvím probíhá kontrola, regulace a indikace základních parametrů procesu, včetně stálého záznamu nejdůležitějších parametrů a poruch.



obr č.5: Rotační pec s dohořivací komorou

5.1 Popis funkce matematického modelu

Simulační model tepelné bilance pro různé varianty odpadů jsem použila program sestavený v jazyce Turbo Pascal [20]. Vstupní parametry a výhřevnosti vsázek jsem zpracovala v Microsoft Excel v programu „Výhřevnosti odpadů“.

V programu zohledňujeme následující předpoklady:

- stabilizační hořák na zemní plyn umístěný v čele rotační pece zajišťuje ohřev materiálu a stabilitu hoření
- pomocný hořák umístěný v dohořivací komoře zabezpečuje dokonalé vyhoření produktu spalování
- požadovaná teplota spalin u čela pece je cca 1000°C, model vypočítává potřebný průtok plynu stabilizačním hořákem
- zajistí-li výhřevnost odpadu stabilní hoření, je stabilizační hořák odstaven a teplota ve spalovací komoře je regulovaná přebytkem vzduchu
- teplota spalin na výstupu z rotační pece nesmí klesnout pod 1200°C, klesne-li program vypočítá průtok plynu v dohořivací komoře k dosažení požadované teploty spalin
- podle hmotnostního toku odpadu je stanoven:
 - objemový průtok spalin
 - spotřeba primárního vzduchu
 - spotřeba sekundárního vzduchu
 - tepelný výkon obou hořáků
 - doba setrvání odpadu v peci
 - doba setrvání spalin v dohořivací komoře
 - teplota spalin
 - průtok plynu oběma hořáky
 - přebytek vzduchu v peci a komoře

6. ODVOZENÍ ZÁKLADNÍCH A TEPELNÝCH VÝPOČTU

Vztahy pro matematický model jsou odvozeny z bilance tepla pro jednotlivé úseky pece

1. Celková výhřevnost odpadu

$$Q_o = \frac{\sum m_i \cdot Q_i}{\sum m_i} \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.1)$$

Q_i ... výhřevnost i-té složky $[\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$

m_i ... hmotnost i-té složky $[\text{kg}]$

2) Spotřeba spalovacího vzduchu a vývin spalin pro odpad

a) Teoretická spotřeba vlhkého spalovacího vzduchu $\mu = 1,04$

$$V_{vvo}^t = (1,012 \cdot \frac{Q_o}{4186,7} + 0,5) \mu \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.2)$$

b) Teoretické množství suchých spalin

$$V_{sso}^t = 0,95 \cdot \frac{Q_o}{4186,7} + 1,375 \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.3)$$

c) Teoretické množství vlhkých spalin

$$V_w = V_{sso}^t + 11,1 \cdot H + 1,2 \cdot W + \frac{\mu - 1}{\mu} \cdot V_{vvo}^t \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.4)$$

d) Celkové množství vlhkých spalin

$$V_{sno} = V_{sso}^t + (n_{vzd} - 1) \cdot V_{vvo}^t \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.5)$$

3) Spotřeba spalovacího vzduchu a vývin spalin pro zemní plyn

Výhřevnost $Q_p = 38 \text{ MJ} \cdot \text{m}_N^{-3}$

a) Teoretická spotřeba vlhkého spalovacího vzduchu

$$V_{vvp}^t = 0,264 \cdot Q_p \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{m}_N^{-3}] \quad (6.6)$$

b) Teoretické množství vlhkých spalín

$$V_{SVP}^t = V_{VVP}^t + (0,38 + 0,0179 + Q_p) \quad [m_N^3 \cdot m_N^{-3}] \quad (6.7)$$

c) Celkové množství vlhkých spalín při přebytku $n_p=1,05$

$$V_{SNP} = n_p \cdot V_{VVP}^t + (0,38 + 0,0179 + Q_p) \quad [m_N^3 \cdot m_N^{-3}] \quad (6.8)$$

4) Průtok plynu stabilizačním hořákem pro udržení teoretické teploty spali v počátečním úseku pece

Aby nedošlo k porušení a nadměrnému opotřebení vyzdívky, nesmí teoretická teplota spalín přesáhnout teplotu $t_{st}=1\ 200^\circ\text{C}$

a) Tepelná bilance počátečního úseku pece

Teplo přivedené v odpadu za čas

$$Q_{1RP} = Q_o \cdot m \quad [kW] \quad (6.9)$$

Teplo přivedené plynem stabilizačního hořáku za čas

$$Q_{2RP} = Q_p \cdot V_{p1} \quad [kW] \quad (6.10)$$

Teplo odvedené spalínami za čas

$$Q_{3RP} = (V_{SNO} \cdot m + V_{SNP} + V_{p1}) \cdot c_s \cdot t_{st} \quad [kW] \quad (6.11)$$

$$c_s = 2,147 \cdot 10^{-4} \cdot t_{st} + 1,46 \quad [kJ \cdot m_N^{-3} \cdot K^{-1}] \quad (6.12)$$

b) Sestavení bilanční rovnice

$$Q_{3RP} = Q_{1RP} + Q_{2RP} \quad [kW] \quad (6.13)$$

Po dosazení a úpravě dostaneme vztah pro průtok plynu

$$\dot{V}_{p1} = \frac{m \cdot [(V_{SNO} \cdot c_s \cdot t_{st}) - Q_o]}{Q_p (V_{SPN} \cdot c_s \cdot t_{st})} \quad [m_N^{-3} \cdot s^{-1}] \quad (6.14)$$

Odpovídající tepelný výkon stabilizačního hořáku

$$P_{p1} = V_{p1} \cdot Q_p \quad [kW] \quad (6.15)$$

c) Úprava bilanční rovnice pro $V_{p1}=0$

$$n_{VZD} = 1 + \frac{Q_o - (V_{SVO}^t \cdot c_s \cdot t_{st})}{V_{VVO}^t \cdot c_s \cdot t_{st}} \quad [-] \quad (6.16)$$

d) Úpravou bilanční rovnice dostaneme vztah pro kontrolní výpočet teoretické teploty spalin pro stanovený průtok plynu V_{P1} .

$$t_{SO} = \frac{Q_0 \cdot m + Q_P \cdot V_{P1}}{V_{SVO}^t + (n_{VZD} - 1) \cdot V_{VVO}^t \cdot V_{SNP} \cdot V_{P1} \cdot c_S} \quad [^{\circ}C] \quad (6.17)$$

$$c_S = 2,147 \cdot 10^{-4} \cdot t_{SO} + 1,46 \quad [kJ \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}] \quad (6.18)$$

5) Teplota spalin na výstupu z rotační pece

a) Tepelná bilance mezi vstupem a výstupem z pece

Teplo přivedené odpadem

$$Q_1 = Q_0 \cdot m \quad [kW] \quad (6.19)$$

Teplo přivedené plynem stabilizačního hořáku

$$Q_2 = Q_P \cdot V_{P1} \quad [kW] \quad (6.20)$$

Teplo odvedené spalinami

$$Q_3 = (V_{SNO} \cdot m + V_{SNP} \cdot V_{P1}) \cdot c_S \cdot t_{st} \quad [kW] \quad (6.21)$$

Teplo odvedené pláštěm pece

$$Q_4 = 0,14 \cdot (Q_0 \cdot m + V_{P1} \cdot Q_P) \quad [kW] \quad (6.22)$$

Teplo odvedené tuhými zbytky

$$Q_5 = K \cdot m \cdot c_0 \cdot t_{S1} \quad [kW] \quad (6.23)$$

b) Sestavení bilanční rovnice

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad [kW] \quad (6.24)$$

Po úpravě a dosazení dostaneme vztah pro teplotu spalin

$$t_{S1} = \frac{0,86 \cdot (Q_0 \cdot m + V_{P1} \cdot Q_P)}{K \cdot m \cdot c_0 + V_{SNO} \cdot m + V_{SNP} \cdot V_{P1} \cdot c_S} \quad [^{\circ}C] \quad (6.25)$$

$$c_S = 2,147 \cdot 10^{-4} \cdot t_{S1} + 1,46 \quad [kJ \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}] \quad (6.26)$$

6) Průtok plynu stabilizačním hořákem pro udržení teoretické teploty spalin v počátečním úseku pece

Pro dokonalé vyhoření plyných produktů spalování a pevných částic unášených spaliny je v dohořivací komoře potřeba dosáhnout $t_{sopt}=1\,000^{\circ}\text{C}$

a) Tepelná bilance dohořivací komory

Teplo přivedené z rotační pece odpadem za 1 sekundu

$$Q_{1DK} = Q_0 \cdot m + V_{P1} \cdot Q_P - 0,14 \cdot (Q_0 \cdot m + V_{P1} \cdot Q_P) \quad [\text{kW}] \quad (6.27)$$

Teplo přivedené plynem pomocného hořáku za 1 sekundu

$$Q_{2DK} = V_{P1} \cdot Q_P \quad [\text{kW}] \quad (6.28)$$

Ztráty dohořivací komory $z=0,05$ [-]

Teplo odvedené spaliny za 1 sekundu

$$Q_{3DK} = [V_{SNO} \cdot m + V_{SNP} \cdot (V_{P1} + V_{P2})] \cdot c_S \cdot t_{S2} \quad [\text{kW}] \quad (6.29)$$

$$c_S = 0,0002147 \cdot t_{S2} + 1,46 \quad [\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (6.30)$$

Teplo odvedené tuhými zbytky

$$Q_{4DK} = K \cdot m \cdot c_0 \cdot t_{S2} \quad [\text{kW}] \quad (6.31)$$

b) Sestavení bilanční rovnice

$$(1-z) \cdot Q_{1DK} + Q_{2DK} = Q_{3DK} + Q_{4DK}$$

Po úpravě a dosazení dostaneme vztah pro průtok plynu

$$V_{P2} = \frac{t_{Sopt} [c_S \cdot (V_{SNO} \cdot m + V_{SNP} \cdot V_{P1}) + K \cdot m \cdot c_0] - (1-z) \cdot 0,86 \cdot (Q_0 \cdot m + V_{P1} \cdot Q_P)}{(1-z) \cdot Q_P - V_{SNP} \cdot t_{Sopt} \cdot c_S} \quad (6.32)$$

Odpovídající tepelný výkon pomocného hořáku

$$P_{P2} = V_{P2} \cdot Q_P \quad [\text{kW}] \quad (6.33)$$

c) Teplota spalin na výstupu z dohořivací komory

$$t_{S2} = \frac{(1-z) \cdot [0,86 \cdot (Q_0 \cdot m + V_{P1} \cdot Q_P) + Q_P \cdot V_{P2}]}{c_S \cdot (V_{SNO} \cdot m) + V_{SNP} \cdot (V_{P1} + V_{P2}) + K \cdot m \cdot c} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (6.34)$$

$$c_S = 2,147 \cdot 10^{-4} \cdot t_{S2} + 1,46 \quad [\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (6.35)$$

7) Průtok spalin za dohořivací komorou

Normální stav

$$V_{SN} = V_{SNO} \cdot \frac{m}{3600} + (V_{P1} + V_{P2}) \cdot V_{SNP} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (6.36)$$

Skutečný stav při teplotě spalin t_{S2}

$$V_S = V_{SN} \cdot \frac{t_{SN} + 273,15}{273,15} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (6.37)$$

8) Průtok spalovacího vzduchu

a) Primární spalovací vzduch proudící do rotační pece
normální stav

$$V_{VN1} = V_{VVO} \cdot n_{VVZD} \cdot \frac{m}{3600} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (6.38)$$

skutečný stav

$$V_{V1} = V_{VN1} \cdot \frac{t_{V1} + 273,15}{273,15} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (6.39)$$

b) Sekundární spalovací vzduch do dohořivací komory, kde je udržován
konstantní přebytek vzduchu n_{2VZD} .

normální stav

$$V_{VN2} = V_{VN1} \cdot (n_{2VZD} - n_{1VZD}) \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (6.40)$$

skutečný stav při teplotě vzduchu t_{V2}

$$V_{V2} = V_{VN2} \cdot \frac{t_{V2} + 273,15}{273,15} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (6.41)$$

6.1 Výpočet základních spalovacích a tepelných rovnic

Typ spalovacího zařízení	SP 400
Jmenovitý výkon spalovacího zařízení kg/h	400
Výhřevnost odpadu MJ/kg	17
Výhřevnost zemního plynu MJ/kg	38
Obsah vody v odpadu 0- 20%	10
Obsah síry %	1
Spotřeba popele 0- 30%	15
Obsah vodíku 5- 10%	7

1) Spotřeba spalovacího vzduchu vývin spalin pro dopad

a) Teoretické množství suchých spalin dle [6.3]

$$V_{SSO}^t = 0,95 \cdot \frac{Q_0}{4186,7} + 1,375 = 0,95 \cdot \frac{17000}{4186,7} + 1,375 = \underline{\underline{5,23}} \quad [m_N^3 / kg]$$

b) Teoretická spotřeba vlhkého spalovacího vzduchu dle [6.2]

$$V_{VVO}^t = (1,012 \cdot \frac{Q_0}{4186,7} + 0,5) \cdot \mu = (1,012 \cdot \frac{17000}{4186,7} + 0,5) \cdot 1,04 = \underline{\underline{5,33}} \quad [m_N^3 / kg]$$

c) Teoretické množství vlhkých spalin pro $\mu = 1,04$ [-] dle [6.4] a [6.5]

$$V_{SVO}^t = V_{SSO}^t + V_W \quad [m_N^3 / kg]$$

$$V_W = 11,1 \cdot H + 1,2 \cdot W + \frac{\mu - 1}{\mu} \cdot V_{VVO}^t = 11,1 \cdot 0,07 + 1,2 \cdot 0,1 + \frac{1,04 - 1}{1,04} \cdot 4,79 = \underline{\underline{1,09}}$$

$$[m_N^3 / kg]$$

$$V_{SVO}^t = 5,23 + 1,09 = \underline{\underline{6,32}} \quad [m_N^3 / kg]$$

d) Celkové množství vlhkých spalin při zvoleném přebytku vzduchu $n = 2,0$ [-]

$$V_{SNO} = V_{SVO}^t + (n_{VZD1} - 1) \cdot V_{VVO}^t = 6,32 + (2,0 - 1) \cdot 4,79 = \underline{\underline{10,99}} \quad [m_N^3 / kg] \quad \text{dle [6.8]}$$

e) Množství spalin v odpadu při výkonu 400kg/h

$$V_{SP,ODP} = V_{SNO} \cdot 400 = 10,99 \cdot 400 = \underline{\underline{4396}} \quad [m_N^3 / hod] \quad \rightarrow \quad \underline{\underline{1,221}} [m_N^3 / s]$$

2) Spotřeba spalovacího vzduchu a vývin spalin pro plyn

a) Teoretická spotřeba vlhkého spalovacího vzduchu pro zemní plyn dle [6.6]

$$V_{VYP}^t = 0,264 \cdot Q_0 = 0,264 \cdot 38 = \underline{\underline{10,03}} \quad [m_N^3 / m_N^3]$$

b) Celkové množství vlhkých spalin při přebytku vzduchu $n = 1,05[-]$ dle [6.8]

$$V_{SNP} = n_p \cdot V_{VYP}^t + V = 1,05 \cdot 10,03 + V \quad [m_N^3 / m_N^3]$$

$$V = 0,38 \cdot 0,179 \cdot Q_p = (0,38 + 0,0179 \cdot 38) = \underline{\underline{1,06}} \quad [m_N^3 / m_N^3]$$

$$V_{SNP} = 1,05 \cdot 10,03 + 1,06 = \underline{\underline{11,59}} \quad [m_N^3 / m_N^3]$$

c) Množství spalin z plynu při výkonu 150m_N/hod při udržení teploty 1 200°C

$$V_{P1} = 150 \quad [m_N^3 / hod]$$

$$V_{SP,PL} = V_{P1} \cdot V_{SNP} = 150 \cdot 11,59 = \underline{\underline{1740}} \quad [m_N^3 / hod]$$

d) Skutečné množství spalin v rotační peci při teplotě $t_1 = 1000^\circ\text{C}$ dle [6.39]

$$V_{SP1} = \frac{t_{S1} + 273,15}{273,15} \cdot V_{SP,ODP} = \frac{1000 + 273,15}{273,15} \cdot 1,221 = \underline{\underline{5,69}} \quad [m^3 / s]$$

3) Celkové množství spalin z dopadu a plynu

$$V_{SP,CELK} = V_{SP,ODP} + V_{SP,PL} = 4396 + 1740 = \underline{\underline{6136}} \quad [m_N^3 / hod] \rightarrow \underline{\underline{1,704}} [m_N^3 / s]$$

4) Skutečné množství spalin v dohořivací komoře při teplotě $t_{s2} = 1200^\circ\text{C}$

$$V_{SP,2} = \frac{t_{S2} + 273,15}{273,15} \cdot V_{SP,CELK} = \frac{1200 + 273,15}{273,15} \cdot 1,704 = \underline{\underline{9,19}} \quad [m^3 / s] \quad \text{dle [6.41]}$$

5) Doba setrvání spalin v dohořivací komoře

Rozměry: průměr dohořivací komory 3m

Výška dohořivací komory 7,5 m

Objem dohořivací komory

$$V_{DK} = \pi \cdot \left(\frac{d_{DK}}{2}\right)^2 \cdot v_{DK} = \pi \cdot \left(\frac{3}{2}\right)^2 \cdot 7,5 = \underline{\underline{53}} \quad [m^3]$$

$$\tau = \frac{V_{DK}}{V_{SP,2}} = \frac{53}{9,19} = \underline{\underline{5,77}} \quad [s] \quad \text{dle [8.2]}$$

7. NÁVRH JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ A AGREGÁTŮ PECE

7.1 Návrh hlavní rozměrů, otáček a sklonu rotační pece

1) Návrh vnitřního průměru rotační pece

Velikost vnitřního průměru rotační pece je ovlivněna:

- rozměry kusů a spalovaného materiálu
- konstrukční a prostorovým řešením čela pece vzhledem k zaústění stabilizačního hořáku a dávkovacího zařízení

Navrhuji proto vnitřní průměr pece $d_1=1500\text{mm}$

2) Návrh délky rotační pece

Platí zde empirický vztah pro určení délky pece dle literatury [4]

$$L = K_1 \cdot (d_1 - 0,5) \cdot K_2 = 6 \cdot (1,5 - 0,5) \cdot 1 = \underline{\underline{6}} \quad [\text{m}] \quad (7.1)$$

K_1 - koeficient pro zařízení menších výkonů = 5 až 10

K_2 - koeficient pro zařízení menších výkonů = 1

Délka rotační pece $L = 6 \text{ m}$

3) Návrh sklonu rotační pece

Sklon rotační rotační pece volím konstantní $\alpha_s = 3^\circ$

4) Návrh počtu otáček rotační pece

Otáčky pece n_2 volím v rozsahu 0 až 4 ot/min

7.2 Proudění spalin a pohyb materiálu v rotační peci

- a) **Rychlost proudění spalin v rotační peci:** pro určení rychlosti proudění spalin je použito výsledků z výpočtu $V_{SP,1} = 5,69 \text{ m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (skutečné množství spalin) [12]

$$w_{s1} = \frac{V_{SP1} \cdot 4}{\pi \cdot d_1^2} = \frac{5,69 \cdot 4}{\pi \cdot 1,5^2} = \underline{\underline{3,22}} \quad [\text{m/s}] \quad (7.2)$$

- b) **Postupná rychlost materiálu v rotační peci:**

$$w_m = \frac{d_1 \cdot n_2 \cdot \alpha_s}{0,308 \cdot (\beta_s - 24)} = \frac{1,5 \cdot 1 \cdot 3}{0,308 \cdot (120 - 24)} = \underline{\underline{0,152}} \quad [\text{m/min}] \rightarrow \underline{\underline{9,13}} \quad [\text{m/hod}] \quad (7.3)$$

- c) **Doba setrvání materiálu v rotační peci:**

$$\tau_1 = \frac{L}{w_m} = \frac{6}{0,152} = \underline{\underline{39,5}} \quad [\text{min}] \quad (7.4)$$

- d) **Hmotový výkon spalovacího zařízení:**

$$\dot{m} = 60 \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot \frac{\varphi}{100} \cdot w_m \cdot \rho_0 = 60 \cdot \frac{\pi \cdot 1,5^2}{4} \cdot \frac{10}{100} \cdot 0,152 \cdot 300 = \underline{\underline{483,5}} \quad [\text{kg/hod}] \quad (7.5)$$

Hodnota $\dot{m} = 483,5 \text{ kg/hod}$ je teoretický možný výkon zařízení pro daný součinitel plnění a postupnou rychlost materiálu v rotační peci.

7.3 Výpočet hmotnosti pece

Zadané hodnoty:

Vnitřní průměr pece	$d_1 = 1,50 \text{ m}$
Vnitřní průměr pláště pece	$d_v = 2,068 \text{ m}$
Vnější průměr pláště pece	$d_2 = 2,10 \text{ m}$
Vnitřní průměr nosné obruče	$d_3 = 2,16 \text{ m}$
Vnější průměr nosné obruče	$d_4 = 2,44 \text{ m}$
Délka vyzdívky pece	$L_1 = 5,960 \text{ m}$
Délka pece	$L = 6,00 \text{ m}$
Tloušťka pláště pece	$S_P = 0,016 \text{ m}$
Šířka nosné obruče	$b_o = 0,20 \text{ m}$
Šířka ozubeného věnce	$b_v = 0,18 \text{ m}$
Hustota oceli	$\rho_{Fe} = 7850 \text{ kg/m}^3$
Hustota vyzdívky	$\rho_v = 2020 \text{ kg/m}^3$

a) Hmotnost vyzdívky

$$m_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (d_v^2 - d_1^2) \cdot L \cdot \rho_v = \frac{\pi}{4} \cdot (2,068^2 - 1,5^2) \cdot 6 \cdot 2020 = \underline{\underline{19281,7}} \text{ [kg]} \quad (7.6)$$

b) Hmotnost pláště:

$$m_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (d_2^2 - d_v^2) \cdot L \cdot \rho_{Fe} = \frac{\pi}{4} \cdot (2,1^2 - 2,068^2) \cdot 6 \cdot 7850 = \underline{\underline{4933,9}} \text{ [kg]} \quad (7.7)$$

c) Hmotnost obručí:

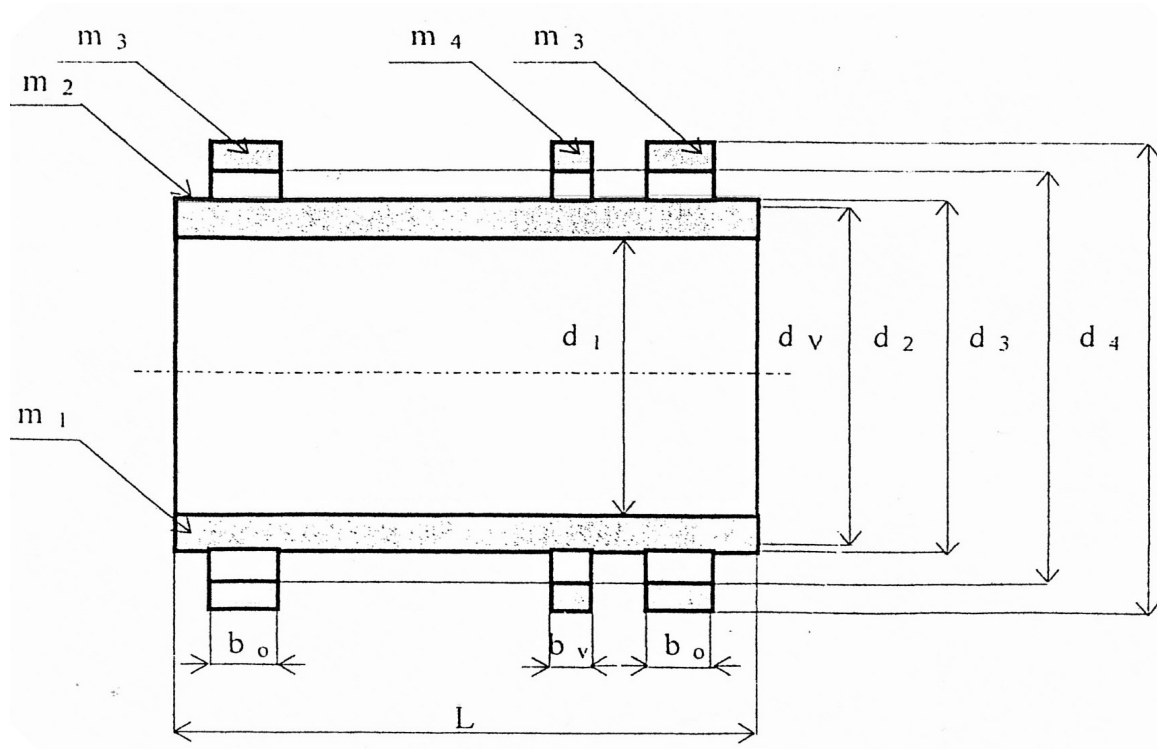
$$m_3 = \frac{2 \cdot \pi}{4} \cdot (d_4^2 - d_3^2) \cdot b_o \cdot \rho_{Fe} = \frac{2 \cdot \pi}{4} \cdot (2,44^2 - 2,16^2) \cdot 0,2 \cdot 7850 = \underline{\underline{3176,4}} \text{ [kg]} \quad (7.8)$$

d) Hmotnost ozubeného věnce:

$$m_4 = \frac{\pi}{4} \cdot (d_4^2 - d_3^2) \cdot b_v \cdot \rho_{Fe} = \frac{\pi}{4} \cdot (2,44^2 - 2,16^2) \cdot 0,18 \cdot 7850 = \underline{\underline{1429,38}} \text{ [kg]} \quad (7.8)$$

e) Celková hmotnost pece: (7.9)

$$m_c = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 = 19281,7 + 4933,9 + 3176,4 + 1429,38 = \underline{\underline{28821,38}} \text{ [kg]}$$



obr č.7: Označení průměru a hmotnosti rotační pece

7.4 Uložení pece

Pec je uložena dvěma nosnými obručemi na dvojicích nosných kladek [12]

Dle typové řady radiálních nosných kladek vyráběných v Přerovských strojárnách jsem vybrala tyto kladky:

Max. reakce v kladkách	F_{\max}	=	80 000 N
Vnější průměr kladek	d_K	=	400mm
Průměr hřídele kladky	d_H	=	90 mm
Šířka kladek	b_K	=	200 mm
Vzdálenost ložisek	a_L	=	340 mm
Úhel rozevření kladek	radiální soudečková dvojřadá 22 218, ČSN 02 4705		
Úhel rozevření kladek	α_K	=	60°
Šířka nosné obruče	b_0	=	200 mm
Tloušťka nosné obruče	s_0	=	100 mm
Otáčky ozubeného věnce pece	n_{2v}	=	0,5 – 4 ot/min

7.5 Pohon rotační pece

Výkon elektromotoru – dle [12] platí:

$$P_{el} = \frac{n_2}{\eta} \cdot \left((0,55 \cdot L \cdot d_1^3 \cdot \sin^3 \gamma) \cdot \left(1,19 \cdot f \cdot \frac{d_H}{2} \cdot m \cdot \frac{d_4}{d_k} \right) \right) \quad [\text{kW}] \quad (7.10)$$

$$P_{el} = \frac{2}{0,9} \cdot \left((0,55 \cdot 6 \cdot 1,5^3 \cdot \sin^3 70) + \left(1,19 \cdot 0,5 \cdot \frac{0,09}{2} \cdot 28,821 \cdot \frac{2,44}{0,4} \right) \right) = \underline{\underline{31}}$$

Základní částí pohonu je stejnosměrný elektromotor s tyristorovou regulací otáček, který má z hlediska spolehlivosti provozu výkon 35 kW

Parametry jednotlivých částí:

Elektromotor	typ SHF 04B	výkon 35 kW	200 – 1000 ot/min
Spojka 1	typ BKN 125		
Převodovka	typ TSA 031 302 – 04	výkon 16,3 kW	převod 31,5
Spojka 2	typ VSP 1,5 – 140x145	PN 005845,1	

7.6 Regulace spalovacího procesu

Řízení provozu spalovny je řešeno pomocí počítače, jehož prostřednictvím probíhá kontrola, regulace a indikace základních parametrů procesu, včetně stálého záznamu nejdůležitějších parametrů a poruch.

Regulace spalovacího procesu je zabezpečená automatikou vyhodnocující přebytek vzduchu ve spalínách a teplotu v jednotlivých komorách spalovací pece. Přívod plynu do hořáku je proveden potrubím a je vybaven měrákem tlaku, teploty a regulační klapkou. Rozvod vzduchu do pece a dohořivací komory je řešen přímým odtahem spalín (bypassem) a je osazen regulační klapkou [20]. Schéma regulace spalovacího procesu viz. obr. č. 10

7.7 Automatika plnění odpadů

Do spalovací komory je dávkován pevný odpad pomocí hydraulického dávkovacího zařízení a je vybavena zasouvacími tryskami pro spalování tekutých druhů odpadů. Po vysypání odpadů se plnicí komora hydraulicky uzavře a automaticky dopraví odpad do komory. Celý systém pracuje v režimu podtlaku, čímž je zabráněno prášení a úniku škodlivin do obslužného prostoru. Na základě požadavků hygienika je nemocniční odpad likvidován do 24 hod od dovezení odpadu do spalovny.

1) Výsypná šachta

sestává ze šachty, nosné konstrukce s plošinou, víka s pneumatickým válcem, pneumatického protlačovače a trysek.

Slouží k propojení dávkovacího transpotréru a zvedacího a překlápěcího zařízení kontejnerů s pístovým podavačem. Šachtou je usměrňován tok materiálu z uvedených zařízení do pístového podavače. K nosné konstrukci zhotovené z válcovaných profilů, která je zčásti svařená a zčásti demontovatelná, je přichycena šachta dělená do dvou částí a spojená přírubovými spoji. V horním (vstupním) otvoru je opatřena víkem otvíraným pneumatickým válcem a spodním přírubovým otvorem navazuje na protipřírubu pístového podavače. V místě uchycení pneumatického válce je konstrukce rozšířena o plošinu umožňující přístup v případě oprav a seřizování. Ve střední části je opatřena otvorem s přírubou pro přichycení dávkovacího dopravníku. Rovněž v prostřední části šachty (na protilehlé straně) je uchycen pneumatický válec určený k protlačování materiálu při jeho případném klenbování. V horní části šachty jsou našroubovány 2 trysky určené k omývání tlakovou teplou vodou [21].

2) Pístový hydraulický podavač

Těleso podavače navazuje na šachtu a v dolní části je zaústěn do čela rotační pece výstupním otvorem s klapkou. V části zasahující do čela pece je plášť dvojitý s vodním chlazením. Součástí je vlastní podavač posunující se v tělese. Do tělesa podavače jsou provedeny ze strany zásahové otvory. V dolní části je výsypka s přírubou pro odvod případného stěru (propadu). V horní části podavače je umístěn plnicí kanál opatřený dvěma dvojicemi klapek ovládanými dvěma přímočarými hydromotory. Na plnicí kanál navazuje v jeho spodní části středový kus opatřený pecní klapkou vyrobenou ze žáruvzdorné oceli. Taktéž pecní klapka je ovládána přímočaře hydromotorem. Po obou stranách středového kusu jsou provedeny revizní průlezy umožňující snadnou údržbu a seřízení. K přední části středového kusu je připojeno ústí, jež je provedeno jako dvojitý

plášť s vodním chlazením. Koncová část ústí zasahující do čela rotační pece je zhotovena ze žáruvzdorné oceli 12022. K zadní části středového kusu je připojeno těleso pístu opatřené demontovatelnými kryty. Pohyb pístu zajišťuje přímočarý hydromotor. Případné stěny (propad) jsou odvedeny výsypkou připojenou ke spodní stěně tělesa pístu zakončenou ručním šoupátkovým uzávěrem [21].

Technické parametry PNO 3000

Sklon podavače k horizontále : 1°

Max.doba 1 podávacího cyklu : 6 min

Rychlost pístu plynule nastavitelná min 0,3 m/min - max 4,0 m/min

Síla na píst:nastavitelná max. 300 kN

Dovolené přetížení : 45 %

Počet klapek plnicího kanálu : 2 (dvojitě)

Počet pecních klapek : 1

Pohon pístu : motor Z2 HT 100/63x3000-R

Pohon klapek : 3x přím.hydr.mot.Z2 HT 45x300



obr. č.11 Podávací zařízení do pece [21]

7.8 Vstupní čelo rotační pece

Vstupní čelo je zařízení, které uzavírá vstupní část válce rotační pece a je opatřeno otvory a přírubami pro umístění hořáku, dávkovacího zařízení, přívodu spalovacího vzduchu, trysky tekutých odpadů a průhledítka.

Čelo rotační komory plní následující funkce:

- je v něm zaústěno dávkovací zařízení
- zaústění stabilizačního hořáku
- rozvod primárního spalovacího vzduchu
- jsou zde nainstalovány měřidla teploty a podtlaku

7.9 Stabilizační hořák

Hořák je umístěn v čele rotační pece a jeho osa je nakloněná k podélné ose rotační pece pod úhlem 9°, aby jeho plamen rovnoměrně vyplňoval spalovací prostor a nezasahoval do vnitřního povrchu vyzdívky

Volím plynový automatický hořák D 500. Regulace hořáku je klouzavá, třípolohová. Výkon hořáku se dá nastavit v celém výkonovém rozsahu [9].

Hořák by měl být jištěn proti poruchám:

- zhasnutí plamene
- přerušování dodávky plynu, elektrické energie
- poklesu tlaku plynu, tlaku vzduchu pro spalování
- překročení maximální teploty zařízení

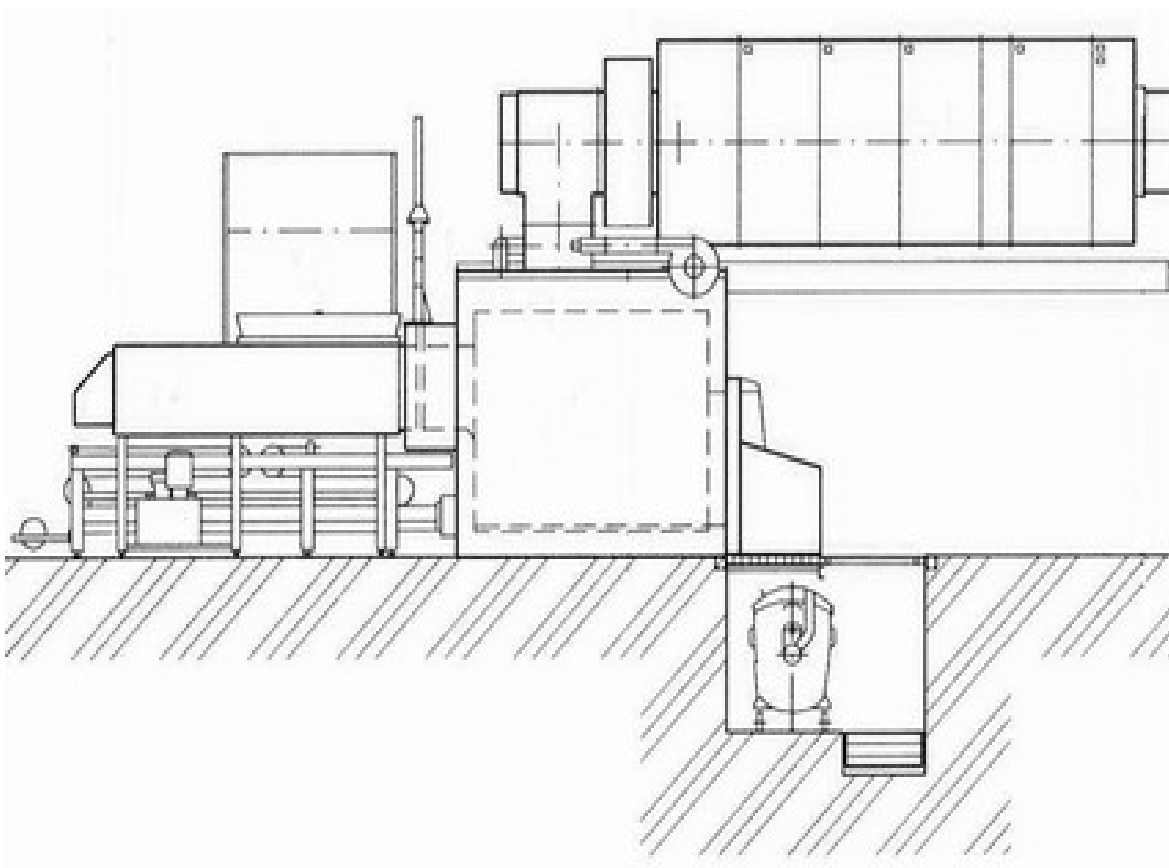
Technické parametry hořáku DZ -500 – 2A:

Tlak plynu	1750	Pa
Min. výkon	230	kW
Max. výkon	800	kW
Přetlak v topeništi	-50 až 50	Pa
Elektrický příkon	860	VA
Hmotnost	77	kg

7.10 Mechanika odpopelnění

Zařízení umístěné pod komorou, do něhož je automaticky vynášen popel ze spalovací komory, skládající se z:

- pohyblivé podlahy (poháněné elektricky), upevnění pro kontejner a jednoho odsávacího zařízení
- kontejner na popel - ocelový kontejner o objemu 1.200 litrů pro uložení popela a škváry ze spalovací komory.
- zvedací zařízení pro kontejner - elektricky ovládané zařízení na zvedání kontejneru s popelem z prohlubně.



8. Dohořivací komora

Aby bylo zaručeno úplné vyhoření spalin musí být za rotační pecí zařazena dohořivací komora. Regulaci teploty zajišťuje stabilizační hořák na zemní plyn.

Spodní část dopalovací komory slouží jako směsná zóna pro spaliny. Sekundární vzduch se do komory přivádí tryskami. Trysky mají sklon 45° nahoru, aby docházelo k dokonalému protiproudému promísení spalin a sekundárního vzduchu. Dál již probíhá laminární prodělení. Minimální doba zdržení spalin musí být 2 sekundy a teplota spalin z dohořivací komory min. 1000°C.

Na dohořivací komoře je napojen nouzový komín s pneumaticky ovládanou klapkou.

Rozměry dohořivací komory jsou zřejmé s výkresové dokumentace:

Průměr $d_{DK} = 3 \text{ m}$, výška $v_{DK} = 7,5 \text{ m}$

a) Rychlost proudění spalin v dohořivací komoře

$$w_{s2} = \frac{V_{SP,2} \cdot 4}{\pi \cdot d_{DK}^2} = \frac{9,19 \cdot 4}{\pi \cdot 3^2} = \underline{\underline{1,3}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (8.1)$$

b) Doba setrvání spalin v dohořivací komoře

$$\tau_2 = \frac{v_{DK}}{w_{s2}} = \frac{7,5}{1,3} = \underline{\underline{5,8}} \quad [\text{s}] \quad (8.2)$$

8.1 Hlavní dohořívací hořák v dohořívací komoře

Hořák je v dohořívací komoře umístěn tak, aby se plamen dostatečně směřoval se spaliny z rotační pece [4].

Hořák by měl být jištěn proti poruchám:

- zhasnutí plamene
- přerušení dodávky plynu, elektrické energie
- poklesu tlaku plynu, tlaku vzduchu pro spalování
- překročení maximální teploty zatížení

Technické parametry hořáku DZ – 2000 – 2A

Tlak plynu	1750	Pa
Min. výkon	230	kW
Max. Výkon	2200	kW
Přetlak v topeništi	-50 až 50	Pa
Elektrický příkon	960	VA
Hmotnost	98	kg

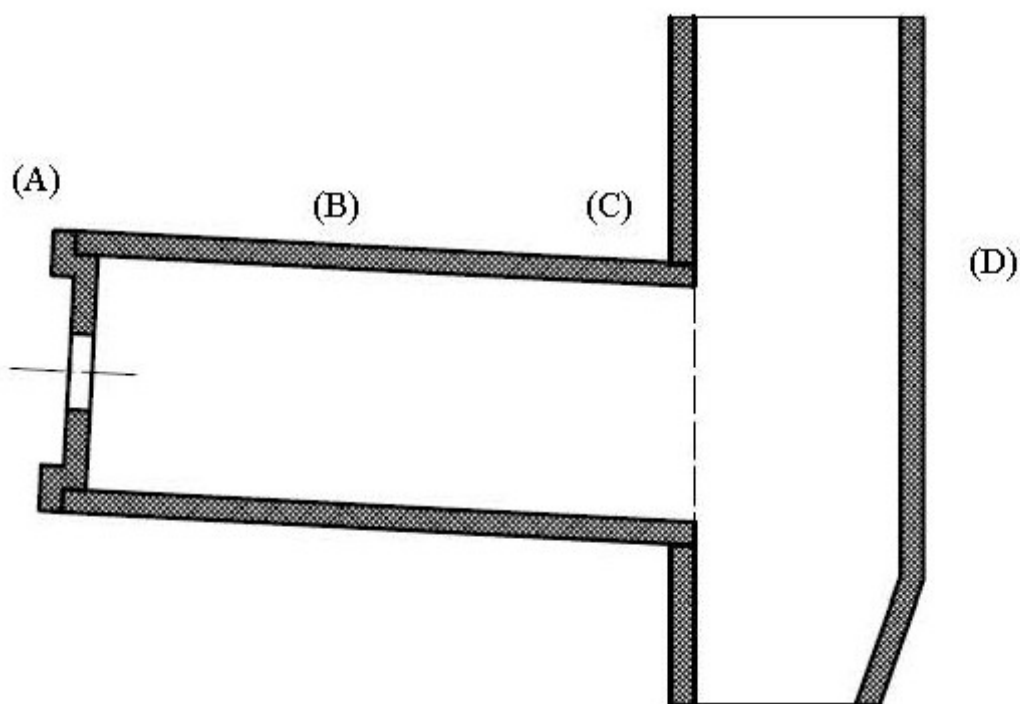
8.2 Kouřový ventilátor

Účelem kouřového ventilátoru spalin je udržovat podtlak v celém zařízení před, tedy proti směru spalin od kouřového ventilátoru (spalovací pec, dopalovací komora, spalinová část kotle, rukávcové filtry, katalyzátor). Otáčky ventilátoru jsou regulovány, řízeny měničem. Minimální otáčky jsou asi 570 ot/min (10 Hz), zatímco maximální otáčky dosahují úrovně 3 100 ot/min (55 Hz). Měnič reguluje otáčky kouřového ventilátoru tak, aby ve spalovací komoře pece byl udržován stále podtlak odpovídající nastavené žádané hodnotě [22].

9. VYZDÍVKY ROTAČNÍ PECE A DOHOŘÍVACÍ KOMORY

1. Vyzdívka rotační pece

Vlastní rotační pec se dle namáhání vyzdívky dělí na tři části.



obr. č. 13 Vyzdívka u rotační pece a dohořívací komory

Úsek na počátku (A), při vstupu odpadu do pece tvoří chladnější zónu, kde vyzdívka trpí

především mechanicky otěrem a také úderem od dopadajících těžších kusů odpadu (kameny, kovové předměty apod.)

V prostřední části (B), vlastně min. 2/3 délky pece, opotřebení „suchým“ otěrem je již zde menší, protože odpad se hořením rozpadá a nachází se často již v měkčím (pyroplastickém) stavu.

Odlišné podmínky panují ve výpadové části rotační pece (C). Zde je již struska zbavena velké části vyhořívacích látek, takže má snahu se slepovat. Mnohdy tomu pomáhá přisávání chladného vzduchu. Vyskytuje se často tvorba rostoucích nálepků, které zužují světlý průměr pece. Nálepky se odstraňují odtavením při krátkodobém

zvýšení teploty v peci, nebo pokud je to možné i mechanicky. Vyzdívkový materiál je zde nálepku chráněn, takže jeho ubývání je pozvolnější [19].

Tloušťka žáruvzdorné vyzdívky je 250 mm. Žáruvzdornou část vyzdívky jsem navrhla 64 mm (materiál AK 60) a izolační část vyzdívky 177 mm (materiál RT). Vnější plášť je tvořen z oceli o tloušťce 10 mm.

2. Vyzdívka dopalovací komora (D)

Dohořivací komora je tvořená ocelovým plechem tloušťky 10 mm a je vyztužená profilovými ocelovými tyčemi. Vzhledem k dosahujícím teplot 1200°C je vyzdívka dvouvrstvová o celkové šířce 350 mm. Žáruvzdorná vyzdívka tvoří 150 mm a izolační část má 200 mm .

Vyzdívky jsou navrhované dle katalogu vídeňské firmy RATH, která se zabývá výrobou žáruvzdorných materiálů.

Hodnoty povrchových teplot stěn a hustoty tepelného toku jsem vypočítala pomocí programu „Prostup tepla válcovou stěnou spalovací a dohořivací komorou“, který jsem vytvořila v Microsoft Excel v programovacím jazyce Visual Basic s použitím funkce Makro. Zpracované výsledky a potřebné hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 1 a č. 2.

tab. č.3 Základní parametry vyzdívky

Materiál	λ [W/m ² .K]	ρ [kg/m ³]	T _{max} [°C]
SILRATH AK60	1,2	2600	1600
CARATH 1250D	0,9	1620	1250
CARATH FL 1300	0,2	1400	1370
PORRATH RT	0,14	1000	1380

10. DALŠÍ ZAŘÍZENÍ SPALOVNY

10.1 Výměník tepla

Teplovodní výměník, ve kterém bude využívána tepelná energie spalin pro ohřev vody. Zařazení výměníku a jeho správná funkce je podmínkou pro technologii čištění spalin. Za výměníkem spalin je zařazena odbočka do nouzového komína, která je vybavena hydraulicky uzavíratelnou klapkou. Nouzový komín je zařazen pro havarijní a nepředvídatelné stavy a současně jako jeden ze stupňů tepelné ochrany systému čištění spalin, kterému jsou předřazeny další stupně regulace. V průběhu provozu je uzavřen[21].

- Teplota spalin na výstupu z výměníku je 250 ° C.
- Tepelný výkon výměníku 1450 kW
- Parametry vody 90/70 °C
- Provozní tlak 0,5 MPa



obr č.14 Parní výměník

10.2 Čištění spalin

Nezbytnou součástí termického zpracování odpadů je i čištění spalin. Odcházející spaliny ze zařízení na tepelné zpracování odpadů mohou obsahovat řadu příměsí, které je nutno před jejich výstupem do ovzduší zachytit.

Zařízení na čištění kouřových plynů je provedeno v kombinaci - suché a následné mokré čištění, což v tomto případě znamená:

- ochlazení spalin přísávaným vzduchem
- a) čištění suchého typu s přívodem vápenného hydrátu a rukávcovým filtrem
- b) štěpení dioxinů/furanů na anorganické plynné produkty v keramickém katalyzátoru - syčení spalin vodní parou v saturátoru
- čištění mokrého typu na bázi NaOH (dvoustupňová mokrá pračka spalin)
- stabilizace obsahu dioxinů/furanů speciální náplní v druhém stupni mokré pračky spalin
- odlučování kapek ze spalin v demistoru

Vzniklé odpadní vody jsou spáleny v peci, případně svedeny do bezodtoké jímky, odkud jsou vyčerpány nerezovým potrubím do chemické kanalizace a následně vyčištěny na chemické čistírně odpadních vod. Odpadní voda z druhého stupně se používá k ostříku demistrů (odlučovačů kapek). Vzduch ze skladu nemocničního odpadu je odsáván a sveden ke spálení do trysek rotační pece. Po spálení zůstává popel, který obsahuje nespalitelné nebo případné nespálené látky. U popela se sledují zejména těžké kovy. Konkrétní složení se zjišťuje v akreditované laboratoři. Popel je předáván firmě, která má povolení k nakládání s odpady i s odpady nebezpečnými.



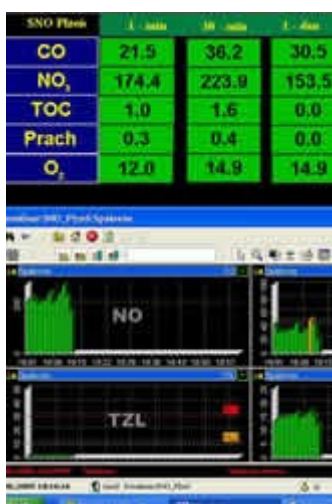
obr. č.15 Systémy čištění spalin

10.2 Měření emisí

Ještě před vstupem spalin do komína analyzuje kontinuálně automaticky monitorovací systém podle zákona č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší: CO, SO₂, NO_x, HCl, HF, H₂O, O₂, TOC, TZL. Další měření, průtok, tlak a teplota.

Jednorázové měření – pravidelně 1x za rok jako doplnění kontinuálního měření v souladu se zněním NV č. 354/2002 Sb. a v souladu s vyhláškou MŽP č. 356/2002 Sb. V souladu NV č. 354/2002 Sb. 2x za kalendářní rok, v intervalu ne kratším než tři měsíce, se provádí jednorázové měření emisí : Hg, Ti, Cd, As, Ni, Cr, Co, Pb, Cu, Mn a jejich sloučeniny, suma PCDD/ PCDF ng TEQ/m³, v němž jsou jednotlivé složky přepočteny pomocí koeficientů ekvivalentu toxicity.

1x za 3 roky se provede kalibrace kontinuálního měření.



obrázek č. 16 Zařízení na kontinuální měření nečistot ve spalinách

11. ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá koncepčním návrhem rotační pece s dohořivací komorou pro spalovnu nemocničních odpadů s výkonem **400 kg/hod.** Spalovaný odpad spadá do kategorie nebezpečných odpadů.

V úvodní části jsem se zabývala základní legislativou spojenou s nakládáním, spalováním a požadavkům ochrany ovzduší i z hlediska norem Evropské unie.

V další části práce jsem zpracovala podmínky pro spalování odpadů a srovnáním základních technologií. Výhodou spalování je velké snížení odpadů a rychlost. Velké využití pro termické zpracování je spalování v rotační spalovacím zařízení.

Návrh rotačního spalovacího zařízení jsem zpracovala s ohledem na legislativní a konstrukční požadavky. Spalovací zařízení řešeno je v návaznosti na ekoblok zaručující splnění limitů emisí. Rozměr rotační pece jsem volila – vnitřní průměr **1500 mm** a vypočítaná délka je **6000 mm**. Pec je poháněná asynchronním elektromotorem s tyristorovou plynulou regulací otáček.

Dohořivací komora je navržena tak aby teplota spalin vystupujících z komory byla dle zadání 1000°C a minimální doba zdržení spalin 2 sekundy.

Vyzdívkou spalovací pece a dohořivací komory jsem zvolila dle firmy RATH, zabývající se žárovzdornými materiály.

Dávkovací zařízení má velký význam pro bezporuchový a elektivní provoz celého zařízení. Dávkovací zařízení se kládá ze dvou dávkovacích pístů, které jsou poháněny každý svým hydraulickým válcem. Dávkovací píst je opatřen stíracími kroužky a je uložen a veden v kladkách upevněných na rámu. Zařízení má plynulý, spolehlivý a tichý chod. Zdvih pístnice je nastavitelný.

Regulace spalovacího procesu je zajištěna automatikou, která vyhodnocuje přebytek vzduchu ve spalinách a teplotu v jednotlivých částech pece. Přívodní potrubí plynu i vzduchu je osazeno regulačními klapkami, které regulují výkon hořáků na základě snímaných hodnot tlaku a teploty měřicím zařízením.

Výsledkem simulačního modelu jsou tepelné bilance pro různou výhřevnost a optimální množství odpadů, které je voleno podle výkonu stabilizačního hořáku a s ohledem na setrvání odpadů v dohořívací komoře.

Výsledky tepelné bilance pro optimální množství odpadů:

Q_o [MJ/kg]	m[kg/h]	P_{p2}[kW]	n₁ [-]	T_k [s]
16 - 17	400	2107,3	1,88	2,4427
	200	1082,8	2	4,7441
	420	2165,8	1,89	2,3807
17 - 19	400	2174,6	1,93	2,9314
	200	1101,3	1,95	4,6584
	455	2434,8	1,96	2,1116

Chtěla bych poděkovat vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. P. Kolatovi, DrSc. za cenné rady studijní materiály, čas a připomínky, které mi při zpracování bakalářské diplomové práce hodně pomohly.

LITERATURA

- [1] Rédr, M., Příhoda, M., Základy tepelné techniky, SNTL Praha 1991
- [2] Smolík, J., Technika prostředí, SNTL Praha 1985
- [3] Obroučka, K., Termické zneškodňování odpadů, Ostrava 1997
- [4] Straka, F., Metody likvidace a energetického využití odpadů, Praha
- [5] Juchelková, D., Fibinger, V., a kol., Metody nakládání s odpadem, skripta VŠB – TU Ostrava
- [6] Energie> časopis Praha 2001/4
- [7] Prospekty firmy Wasteko
- [8] Toman, Z., a kol., Tepelně technické výpočty, 1. vydání, Ostrava, VŠB, 1986
- [9] Prospekt firmy Bresson, a.s. Olomouc
- [10] Odborný posudek firmy WASTEKO s.r.o.
- [11] Černý, V a kol.: Parní kotle a spalovací zařízení, 1. vydání, Praha, 1974
- [12] Hašek, P.: Tabulky pro tepelnou techniku, 1. vydání, Ostrava, VŠB, 1974
- [13] Kolát, P.: Přenos tepla a hmoty, 1. vydání. Ostrava, VŠB, 1986
- [14] Rybín, M.: Spalování paliv a hořlavých odpadů v ohništích průmyslových kotlů, 2. vydání, Praha, SNTL, 1985
- [15] Rédr, M.: Tepelné výpočty a optimalizaci vyzdívek průmyslových pecí, 1. vydání, Praha, SNTL, 1975
- [16] Jílek, P.: Požadavky na spalování odpadu podle nové legislativy na ochranu ovzduší, 1. vydání, Brno, VUT, 2002
- [17] Odpadové fórum: Zdravotnický odpad, 1. vydání, Praha
- [18] Zákon č. 185/2001 o odpadech, seznam legislativy
- [19] Prospekt firmy RATH: <<http://www.rath-group.com>>
- [20] Karazimová N, Návrh rotační pece pro spalovnu průmyslových odpadů, Diplomová práce. Ostrava, VŠB-TU
- [21] Prospekt firmy AliaCHem, a.s., Spalovna Moravské chemické závody Ostrava
- [22] <www.kovostrazov.cz>, speciální kouřové ventilatory
- [23] Prospekt ČKD Praha DIZ, a.s., Zařízení pro termickou likvidaci průmyslových , nemočnic a speciálních odpadů

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A Odpady ze zdravotnictví a veterinární péče a/nebo z výzkumu s nimi
souvisejícího

Příloha B Seznam nebezpečných vlastností odpadů

Příloha C Skupina odpadů

Příloha č. 1 Legislativa

Příloha č. 2 Vyzdívka rotační pece

Příloha č. 3 Vyzdívka dohořivací pece

Příloha č. 4 Výsledky a grafy simulačního modelu tepelné bilance

Výkres ZK – 0 – 001 – 10 Spalovací zařízení

Výkres ZK – 1 – 001 – 10 Rotační pec

Výkres ZK – 1 – 002 – 10 Dohořivací komora

Kompraktní disk CD

Soubory: Prostup tepla válcovou stěnou

 Výhřevnost odpadů